

Hanna-Liisa Pulkkinen

**CLT:N OMINAISUUDET JA KÄYTTÖ RAKENNUSMATERIAALI-
NA**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalouden koulutusohjelma
Maaliskuu 2016**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Maaliskuu 2016	Tekijä/tekijät Hanna-Liisa Pulkkinen
Koulutusohjelma Tuotantotalous		
Työn nimi CLT:N OMINAISUUDET JA KÄYTTÖ RAKENNUSMATERIAALINA		
Työn ohjaaja Kaija Arhio	Sivumäärä 39 + 1	
Työelämäohjaaja Elisa Saarela		
<p>Opinnäytetyössä käsitellään CLT:n ominaisuuksia ja käyttöä rakennusmateriaalina. CLT muodostuu sanoista Cross Laminated Timber, joka tarkoittaa ristiinliimatuista puulevykerroksista valmistettua puulevyä. CLT-levyistä on jatkojalostettu CLT-elementtejä ja CLT-rakentamisesta on tullut jo yksi suosituimmista rakennusmenetelmistä Keski-Euroopassa. Suomessa CLT-rakentaminen on vielä melko harvinaista. Opinnäytetyössä tavoitteena oli kerätä CLT:stä ja CLT-rakentamisesta jo olemassa oleva tieto ja muokata se yrityksiä hyödyntävään muotoon. Lisäksi tavoitteena oli tutkia ja analysoida olemassa olevaa tietoa kriittisesti ja pyrkiä erottamaan todellinen tieto markkinointitiedosta.</p> <p>Opinnäytetyössä käsitellään CLT:n keskeisimpiä ominaisuuksia rakennusmateriaalina, levyjen valmistusprosessia sekä CLT-rakentamisesta aiheutuvia kustannuksia. Lisäksi työssä käsitellään lyhyesti CLT:n käyttöä ja siihen liittyviä ominaisuuksia, kuten yhdistettävyyttä ja teknistä pintakäsittelyä. Rakennusfysiikasta opinnäytetyössä käsitellään lämmön ja kosteuden siirtymistä rakenteissa. Opinnäytetyön tuloksena syntyi kattava tietopaketti CLT:n ominaisuuksista ja käytöstä rakennusmateriaalina.</p> <p>Opinnäytetyössä teoriapohjana on käytetty CLT-levyjen valmistajien internetsivuja, aiheesta aiemmin tehtyjä opinnäytetöitä ja tutkimuksia sekä Suomen rakentamismääräyskokoelmaa. Myös erilaiset puun ominaisuuksista kertovat internetsivut toivat lisätietoa ja vertailevaa näkökulmaa opinnäytetyöhön.</p> <p>Tulevaisuudessa CLT:llä on erittäin hyvät mahdollisuudet nousta myös Suomessa yhdeksi suosituimmista rakennusmateriaaleista, sillä ominaisuuksiensa ansiosta sen on todettu soveltuvan erittäin hyvin Suomen haastaviin ja vaihtuviin ilmasto-oloihin. Nopean ja helpon asennuksen johdosta CLT on erittäin kilpailukykyinen rakennusvaihtoehto perinteisen betonirakentamisen rinnalle.</p>		
Asiasanat CLT, CLT-elementti, CLT-levy, CLT-rakentaminen, Cross Laminated Timber, rakennusmateriaali		

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Ylivieska	Date March 2016	Author Hanna-Liisa Pulkkinen
Degree programme Industrial Management		
Name of thesis THE FEATURES AND USE OF CLT AS A BUILDING MATERIAL		
Instructor Kaija Arhio	Pages 39 + 1	
Supervisor Elisa Saarela		
<p>The purpose of this thesis was to handle the features and use of CLT as a building material. Cross Laminated Timber (CLT) is made of laminated wood stacked and glued together at right angles. CLT-building has become one of the most popular methods of building in Central Europe. CLT-building is still relatively unknown in Finland. The aim of this thesis was to collect existing information of CLT and CLT-building and create the information package, which companies can take advantage of.</p> <p>This thesis deals with the most important properties of CLT as a building material and CLT manufacturing process and the cost of construction. The thesis also deals with the use of CLT and related features such as connectivity and technology surface treatment. Building physics related topics were also assessed such as heat and moisture transfer.</p> <p>Material from CLT panels manufacturers' websites, past thesis and studies of CLT and Finnish building code has been used in this thesis. The properties of the wood and concrete gave an interesting comparative perspective on this thesis.</p> <p>In the future, CLT has a very good chance to becoming one of the most popular building materials in Finland because it has been declared compatible with the Finnish challenging and changing climate conditions. Fast and simple building and installation makes the CLT very competitive alternative to traditional concrete construction.</p>		
Key words building material, CLT, CLT element, CLT panel, cross laminated timber		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

CE-merkki	Valmistajan vakuutus siitä, että kyseisellä merkillä varustettu tuote on EU:n laatuvaatimusten mukainen
CLT	”Cross laminated timber” eli ristikkäin liimatuista puulevykerroksista valmistettu massiivipuinen, jäykkä ja kantava rakennusmateriaali.
Diffuusio	Jonkin aineen esim. vesihöyryn kulkeutuminen materiaalikerroksen läpi korkeammasta pitoisuudesta matalampaan
Hygroskooppisuus	Materiaalin kykyä sitoa itseensä ilmassa olevaa kosteutta sekä luovuttaa sitä ympärillä olevan kosteuden muuttuessa.
Höyrynsulku	Ainekerros, jonka tehtävänä on estää haitallinen vesihöyryn kulkeutuminen rakenteeseen tai rakenteessa.
Kondensoituminen	Vesihöyry tiivistyy rakenteissa vedeksi tai jääksi, kun ilman kosteus on 100 %. Kondensoitumista tapahtuu rakenteen pinnalla tai materiaalikerrosten rajapinnoissa.
Konvektio	Kosteus tai lämpö siirtyvät rakenteessa kaasuseoksen mukana sen liikkueissa kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Konvektio voi olla luonnollista tai pakotettua.
Lämmönjohtavuus	λ (W/mK) Materiaaliominaisuus, joka kuvaa, miten hyvin tietty materiaali johtaa lämpöä.
Lämmönläpäisykerroin	U (W/m ² K). Ilmoittaa lämpövirran, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakenteen.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 CLT, MASSIIVIPUINEN RAKENNUSMATERIAALI	4
2.1 Yleistä	4
2.2 Historia.....	4
3 CLT:N OMINAISUUDET	5
3.1 CLT:n rakenne- ja lujuusominaisuudet	5
3.2 Lämpöenergiset ominaisuudet	8
3.2.1 CLT:n lämpötekniisyys.....	8
3.2.2 Lämmön siirtyminen rakenteessa.....	9
3.3 Kosteusominaisuudet	10
3.3.1 CLT:n kosteustekniisyys.....	10
3.3.2 Kosteuden siirtyminen rakenteessa	14
3.4 Äänitekniset ominaisuudet	15
3.4.1 Äänieristys	15
3.4.2 Värähtely.....	17
3.5 Ympäristöystävällisyys ja ekologisuus	17
3.6 Turvallisuus	19
3.6.1 Paloturvallisuus	19
3.6.2 Rakenneturvallisuus	21
3.6.3 CLT:n vaikutukset hyvinvointiin	21
4 Kustannukset.....	22
5 Valmistus	24
5.1 Valmistusprosessi	24
5.2 Asennus	26
5.2.1 Asennusprosessi.....	26
5.2.2 Liitokset.....	27
5.3 Laadunvalvonta ja -varmistus	28
6 Käyttö.....	30
6.1 Käyttökohteet ja -tavat	30
6.2 Yhdistettävyyys	31
6.3 Tekninen pintakäsittely	32
6.3.1 Pintakäsittelymahdollisuudet.....	33
6.3.2 Halkeilu	34
6.3.3 Paloturvallinen pinta	35
6.4 CLT vrt. betoni.....	36
6.5 CLT vrt. liimapuu	37
7 Pohdinta	38

LÄHTEET	40
LIITTEET	

KUVIOT

KUVIO 1. CLT:n tuoterakenne	6
KUVIO 2. CLT:n valmistuksen prosessikuvaus	26

KUVAT

KUVA 1. 3- ja 5-kerroksiset CLT-levyt	6
KUVA 2. Esimerkki kantavasta ulkoseinärakenteesta	7
KUVA 3. Sääsuoja puukerrostalon ympärillä	14
KUVA 4. CLT:n lapeliimaus	25
KUVA 5. Perinteinen CLT-levyjen kiinnitysmenetelmä vrt. X-RAD	28
KUVA 6. Suomen luontokeskus Haltia Espoossa	31
KUVA 7. Puukerrostalo Lintuviita 2 Seinäjoella	31

TAULUKOT

TAULUKKO 1. CLT-levyn mittavaihtelu puun kosteusprosentin muuttuessa	11
TAULUKKO 2. Rakennuksen paloluokat	20
TAULUKKO 3. CLT- ja puurankatalon laskennalliset kustannukset	22

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheena oli CLT:n ominaisuudet ja käyttö rakennusmateriaalina. Työn päätavoitteena oli kerätä aiheesta olemassa oleva tieto, tutkia ja analysoida sitä kriittisesti sekä muokata kerätty tieto yrityksiä hyödyttäväksi tietopaketti. Opinnäytetyöni aihe tuli Centria-ammattikorkeakoululta, joka on mukana projektissa Uusia mahdollisuuksia CLT:lle. Projektissa ovat mukana Centria-ammattikorkeakoulun lisäksi oppilaitoksista Luulajan teknillinen yliopisto ja Lapin ammattikorkeakoulu. Muita toimijoita hankkeessa ovat Kemin Digipolis Oy ja Ruotsin tekninen tutkimuslaitos. Projektin tavoitteena on lisätä CLT:n monipuolista käyttöä. Hankkeen tutkimuksen painopisteitä ovat CLT:n kustannustehokas hyödyntäminen, levyn laatuominaisuuksien kehittäminen, uudet rakenneratkaisut ja tuotesovellukset sekä CLT:n käyttäytyminen uusissa käyttökohteissa sekä käytön integrointi nykyisiin rakennusprosesseihin. Opinnäytetyöni aihe on yksi osa-alue Centrian vastuualueesta projektissa.

Centria-ammattikorkeakoulu on monialainen ammattikorkeakoulu Keski-Pohjanmaalla. Centria-ammattikorkeakoulussa opiskelee noin 3000 opiskelijaa viidellä koulutusalueella Kokkolan, Ylivieskan ja Pietarsaaren kampuksella. Koulutuksen lisäksi Centria-ammattikorkeakoululla tehdään tutkimus- ja kehitystyötä. Tutkimus- ja kehitystyö pohjautuu tuotekehitykseen, yrittäjyyteen, liiketoiminnan kehittämiseen ja kansainvälisyyteen. (Centria-ammattikorkeakoulu.)

Opinnäytetyön toisessa pääluvussa käsitellään lyhyesti CLT:n määritelmä ja historia. CLT muodostuu sanoista Cross Laminated Timber, joka tarkoittaa ristiinlaminoitua puulevyä. CLT on tunnettu monista hyvistä ominaisuuksistaan, joiden ansiosta sitä voidaan käyttää niin seinien, kattojen kuin välipohjienkin runkorakennusmateriaalina. Käyttökohdevalikoimaan voivat sisältyä niin pien- ja kerrostalot, kuin koulut, päiväkodit ja erilaiset urheilu- ja teollisuushallit.

Opinnäytetyön kolmannessa pääluvussa käsitellään CLT:n ominaisuuksia. Tämän luvun tarkoituksena on selvittää CLT:n mahdollisuuksia rakennusmateriaalina toimimiseen. Toisin kuin Keski-Euroopassa, Suomessa CLT rakennusmateriaalina on vielä melko tuntematon ja sen ominaisuuksia ei osata vielä hyödyntää. Tässä pääluvussa käsitellään ja analysoidaan kriittisesti CLT:lle asetettuja ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ovat rakenne- ja lujuusominaisuudet, lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet, äänieristykseen sekä mm. palo- ja rakenneturvallisuuteen, terveyden edistämiseen ja ympäristöystäväl-

lisyyteen liittyvät ominaisuudet. Rakennusfysiikasta käsitellään lämmön ja kosteuden siirtymistä rakenteessa.

Neljännessä pääluvussa käsitellään lyhyesti CLT-rakentamisen kustannuksia. Vertailevana esimerkkinä käytetään puurankatalon rakentamisen kustannuksia. CLT materiaalina on melko kallis ja CLT-rakentamisen on arvioitu osoittautuvan noin 6-7 % puurankataloa kalliimmaksi rakennusmenetelmäksi. Nopean rakentamisen ja valmiiden elementtien ansiosta useiden työvaiheiden poisjäänti nopeuttaa kuitenkin CLT-rakentamista huomattavasti, jolloin säästöä syntyy mm. palkkakustannuksissa.

Viidennessä pääluvussa aiheena on CLT:n valmistusprosessi. Tässä luvussa kuvataan lyhyesti ja yleisesti CLT:n valmistusprosessin päävaiheet sekä se, miten elementtien asennus tapahtuu. Lisäksi luvussa käsitellään laadunvalvonnan- ja varmistuksen roolia ja toteutumista valmistusprosessissa. Kuudes pääluku sisältää tietoa CLT:n käyttökohteista ja -tavoista. Tässä luvussa käsitellään lisäksi CLT:n yhdistettävyyttä muihin materiaaleihin, oikean eristeen valintaa sekä CLT:n pintakäsittelymahdollisuuksia. CLT:n yhdistettävyyys ja pintakäsittelymahdollisuudet ovat tärkeitä ominaisuuksia liittyen sen käyttöön rakennusmateriaalina. Puupohjaisena materiaalina CLT on helppo yhdistää mm. lasiin ja teräkseen. Pintakäsittelymahdollisuuksia CLT:llä on useita. Pintakäsittelyssä rajoittavana tekijänä ovat usein palomääräykset. Pääluvun lopussa käsitellään lyhyesti CLT:n eroavaisuutta rakennusmateriaalina verrattuna betoniin ja liimapuuhun.

Opinnäytetyön päätarkoituksena on vastata kysymykseen onko CLT niin hyvä, kuin sen markkinoinnissa vakuutellaan. CLT:tä markkinoidaan mm. sanoilla ”lämpöpatteri” ja ”kosteuspatteri.” On kuitenkin huomioitava, että tässä tilanteessa puhutaan kokonaisesta CLT-elementistä, johon on asennettu tarkkojen laskelmien avulla oikeanlaiset ja paksuiset eristeet ja muut tarvittavat oheistuotteet. CLT ei yksinään ole esim. suuren lämmönläpäisykertomensa vuoksi lämpöteknisesti niin hyvä, kuin sana ”lämpöpatteri” viittaa. CLT:stä suhteellisen kalliin rakennusmenetelmän tekee elementtien suunnittelu ja lisäeristeiden ja oheistuotteiden tarve, jotta vaaditut lämpö-, kosteus- ja äänieristysominaisuudet saadaan täytettyä. Toisaalta CLT-rakentaminen voidaan todeta kustannustehokkaaksikin rakennusmenetelmäksi, sillä elementit kasataan tehtaalla valmiiksi, jolloin niiden paikalleen asentaminen on nopeaa ja näin työmaalla olevien työvaiheiden määrä vähenee ja pystytysaika nopeutuu. Tällöin säästetään mm. työmaa- ja palkkakustannuksissa.

Opinnäytetyössä on käytetty päälähteinä Stora Enson kattavia internetsivuja sekä puuinfon puun ominaisuuksia käsitteleviä internetsivuja. Lisäksi työssä on käytetty lähteinä aiheesta edellisinä vuosina

tehtyjä opinnäytetöitä kuten Jani Brännaren vuonna 2012 tekemää opinnäytetyötä CLT-levyjen soveltaminen suomalaiseen pientalorakentamiseen. Myös Ympäristöministeriön laatimat Suomen rakentamismääräykset ovat antaneet todenmukaista tietoa ja näkökulmaa opinnäytetyöhön.

2 CLT, MASSIIVIPUINEN RAKENNUSMATERIAALI

2.1 Yleistä

CLT- Cross Laminated Timber on uusi, paljon kiinnostusta herättävä ja vähitellen yleistynyt tulevaisuuden rakennusmateriaali. CLT-levyt ovat materiaaliltaan massiivipuusia ja nimensä mukaisesti koostuvat yleisimmin kolmesta, viidestä, seitsemästä tai kahdeksasta ristikkäin liimatuista lamelli- eli puulevykerroksista. CLT-levyjen valmistusideana on se, että puulevykerrokset liimataan ristiin ja näin tuloksena saadaan erittäin luja, kantava ja hyvin muotopysyvä rakennusmateriaali. Ekologisuuden ja hyvien lämpö-, kosteus- ja palonkestävyys ominaisuuksiensa ansiosta CLT:llä on erinomainen mahdollisuus nousta yhdeksi suosituimmista rakennusmateriaaleista sekä lisätä puurakentamisen suosiota erityisesti Suomessa, mutta myös muualla Euroopassa. CLT:n käyttömahdollisuudet ovat lähes rajattomat. Ominaisuuksiensa ansiosta CLT soveltuu mm. pien- ja kerrostalojen, erilaisten urheilu- ja teollisuushallien, koulujen ja päiväkotien sekä kauppakeskusten rakennusmateriaaliksi. Näissä edellä mainituissa kohteissa CLT -levyjä voidaan käyttää niin seinien, kattojen kuin välipohjienkin runkorakennusmateriaalina. Lujan ja kestävänsä rakenteensa ansiosta CLT:n käyttö on mahdollista jopa maanjäristysalueilla. Soveltuvuutensa ansiosta CLT on helppo yhdistää eri materiaalien kuten mm. lasin ja teräksen kanssa ja sen pintakäsittelymahdollisuudet ovat lähes rajattomat. Tämä soveltamismahdollisuus tekee CLT :stä entistä monipuolisemman, visuaalisemman ja helpomman käyttää. (Stora Enso 2014.)

2.2 Historia

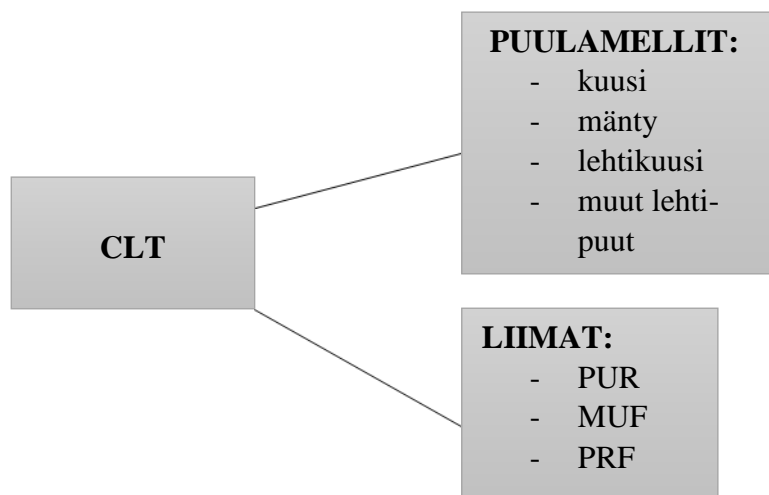
CLT on alkuaan lähtöisin Sveitsistä. 1990-luvulla Itävalta otti CLT:n uudelleen kehittelyyn ja tuloksena syntyi nykyinen CLT- Cross Laminated Timber. 2000-luvun alussa alkoi CLT rakentaminen kasvaa merkittävästi ja nykyään se on jo varsin yleistä ainakin Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. (FPInnovations 2010, 1.) Suomeen CLT on vasta vähitellen tulossa. Suomen rakennusteollisuus on erittäin kiinnostunut CLT:stä, sillä sen on tutkittu ja havaittu soveltuvan loistavasti Suomen vaativiin ilmasto-oloihin. Ympäristöystävällisyytensä ansiosta on CLT entisestään lisännyt suomalaisten kiinnostusta ekologiseen rakentamiseen. Viime vuosiin asti Suomeen tuotavia CLT-levyjä on valmistettu pääasiassa Itävallassa Stora Enson tehtailla. (Puurakentajat.) Vuonna 2014 Suomen historiassa tapahtui iso muutos, joka koski CLT-tuotantoa. Suomessa aloitti kesällä 2014 toimintansa ensimmäinen CLT-tehdas. CrossLam Kuhmo Ltd Kuhmossa alkoi valmistaa ja toimittaa 3-11 kerroksisia, ristiinliimattuja puulevyjä. (Oy Crosslam Kuhmo Ltd 2014a, 3.)

3 CLT:N OMINAISUUDET

CLT on nousemassa yhdeksi suosituimpia rakennusmateriaaleja ja tulee varmasti tulevaisuudessa kilpailemaan mm. betonirakenteiden kanssa rakennusmateriaalimarkkinoilla. Edellytyksenä hyvälle kilpailukyvyille ja menestykselle tarvitaan hyvät ominaisuudet ja vahvuudet omaava tuote. Kehittelyn tuloksena CLT onkin saavuttanut monia merkittäviä etuja ja vahvistanut asemaansa markkinoilla. CLT:llä on paljon hyviä ja hyödyllisiä ominaisuuksia liittyen sen käytettävyyteen rakennusmateriaalina. Esimerkkejä ominaisuuksista ovat sen jämäkkä, tiivis ja muotopysyvä rakenne, ekologisuus, paloturvallisuus ja monipuoliset käyttökohteet (Stora Enso 2014).

3.1 CLT:n rakenne- ja lujuusominaisuudet

CLT-levyjen rakenne koostuu keskimäärin 3-8 ristikkäisestä puulevykerroksesta (KUVA 1), jotka kiinnitetään toisiinsa liimaamalla (Stora Enso 2014, 4). Suomessa CLT:n valmistuksessa liimana käytetään yleisimmin formaldehyditöntä polyuretaaniliimaa PUR. (Puuinfo 2011a.) Ulkomailla liimana käytetään pääasiassa formaldehydiä sisältäviä MUF- ja PRF- liimoja. Sekä polyuretaaniliima PUR että MUF-liima ovat värittömiä ja kestävät hyvin kosteutta ja auringonvaloa. MUF-liiman etuna verrattuna polyuretaaniliimaan on sen erinomainen kuumuuden kestävyys. Formaldehydiä sisältävä MUF-liima aiheuttaa kuitenkin ympäristöä kuormittavia formaldehydipäästöjä sekä sen sekoitussuhde vaatii erityistä tarkkuutta kaksikomponenttisuuden vuoksi. Formaldehydittömän polyuretaaniliiman etuna on joustavuus, formaldehydittömyys sekä sen ominaisuus turvotessaan lisätä puristuspainetta saumassa. Polyuretaaniliiman heikkoutena on sen heikko kuumuuden kestävyys ($T < 60^{\circ}\text{C}$). (Brandner 2013.) Kuviossa 1 havainnollistetaan CLT:n tuoterakenne, eli materiaalit, joita CLT:n valmistuksessa voidaan käyttää (KUVIO 1).



KUVIO 1. CLT:n tuoterakenne (mukaillen Tervo 2015, 10)

CLT -levyjen koko ja paksuus vaihtelevat valmistajan, asiakkaan vaatimusten ja käyttökohteen mukaan. Stora Enson CLT-levyt voivat enimmillään olla kooltaan 2,95 x 16 m. Levyjen paksuus riippuu puulevykerrosten määrästä ja paksuudesta. Enimmäispaksuus Stora Enson levyissä on 400 mm. CLT-levyt valmistetaan usein suurina levyinä, sillä se helpottaa niiden paikalleen asentamista ja minimoi levyjen välisten puskuriliitosten määrän. (Stora Enso 2014, 4.) Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu yksittäisten CLT-levyjen ulkomuotoa ja rakennetta (KUVA 1).

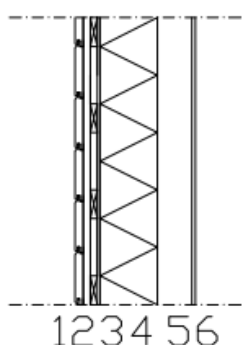


KUVA 1. 3- ja 5-kerroksiset CLT-levyt (Puuinfo 2011a)

Ristikkäin liimattujen puulevykerrosten ansiosta CLT:llä on erittäin suuri rakenteellinen lujuus. Ristiin liimaamisen ansiosta CLT-levyt ovat erittäin kantavia ja jäykkiä ja näin ollen rakenteita ei tarvitse erikseen jäykistää. Ristikkäin liimaus jakaa levyn päälle tulevan kuorman kahteen suuntaan, joka tasaa levyn kuormittavuutta. Poikkisuuntaisten puulevykerrosten ansiosta levyn kantavuuskyky kattaa koko levyn leveyden. Lujuuden ja kantavuuden ansiosta CLT soveltuu täydellisesti runkorakennusmateriaaliksi. Erinomaiset lujuusominaisuudet antavat monia mahdollisuuksia rakennusten sisustuksen ja ulkoasun suunnitteluun ja toteutukseen. Esim. pilarittomat ulokkeet ja erilaiset aukkorakenteet ovat mahdollisia toteuttaa. Keveät ja jäykät levyt voidaan työstää todella tarkasti, jonka ansiosta asiakkaiden ja arkkitehtien toiveita pystytään toteuttamaan lähes aina. (Stora Enso 2014, 2013b.)

Seinissä ja välipohjissa CLT-levy asennetaan rakennuksen rungon sisäpinnalle. Tällöin CLT:n pinta jää rakennuksen sisäpuolella näkyville ja sitä voidaan hyödyntää sisustuksessa. CLT:n valmistuksessa CLT-levyjen sisäpinnat hiotaan lopuksi hyvin, jolloin palomääräysten salliessa niitä ei välttämättä tarvitse rakennuksen sisäpuolella enää peittää tai pinnoittaa. (Stora Enso 2014.) Seinissä eriste sijoitetaan CLT-levyn ulkopuolelle, jonka jälkeen asennetaan tuulensuojalevy ja lopuksi ulkopinta esim. tiili- tai puuverhous. Välipohjissa CLT yhdistetään usein betoni- tai kipsivaluun, jonka avulla saavutetaan rakenteessa riittävä äänieristys ja kantavuus. (Kekäläinen 2015, 20-21.)

Kuvassa 2 on havainnollistava esimerkki kantavasta ulkoseinärakenteesta. CLT-levyn paksuus sekä eristeen materiaali ja paksuus voivat vaihdella tapauskohtaisesti, mutta muutoin ulkoseinän rakenne lähes aina on kuvan 2 kaltainen (KUVA 2). CLT-rakenteiset seinät myös ovat ohuempia, kuin esim. tiiliseinät. Pienemmän paksuutensa ansiosta esim. 100 m² CLT-rakennuksessa voi olla jopa yli 6 % enemmän asuintilaa verrattuna samankokoiseen tiilirakenteiseen taloon. (Stora Enso 2014, 4.)



1. Ulkoverhouslauta 28 mm
2. Ristiinkoolaus 100mm x 25mm k600
3. Tuulensuojakipsilevy 9 mm
4. Mineraalivilla 200 mm
5. Kantava CLT-elementti 120 mm
6. Kipsilevy 13 mm

KUVA 2. Esimerkki kantavasta ulkoseinärakenteesta

3.2 Lämpöenergiset ominaisuudet

Tässä luvussa käsitellään CLT:n lämpöenergisiiä ominaisuuksia ja CLT:n lämpötekniistä toimivuutta rakennusmateriaalina. Luvussa selvitetään mm. toimiiko CLT-levy riittävänä lämmöneristeenä asuinrakennuksessa. Lisäksi tässä luvussa käsitellään rakennusfysiikasta lämmön siirtymistä rakenteessa.

3.2.1 CLT:n lämpötekniisyys

CLT:tä markkinoidaan hyvät lämpötekniset ominaisuudet omaavaksi rakennusmateriaaliksi (Oy CrossLam Kuhmo Ltd 2014a, 7). CLT-levyt ovat perusmateriaaliltaan puuta ja Suomessa raaka-aineena käytetään pääasiassa kuusta ja mäntyä. (Stora Enso 2014). CLT:n hyviä lämpöenergisiiä ominaisuuksia voidaan perustella analysoimalla mm. sen lämpökapasiteettia ja lämmönjohtavuutta. Näiden avulla voidaan mm. määrittää, onko kyseinen materiaali soveltuva ja riittävä eristeeksi, riittääkö se yksinään vai tarvitaanko lisäksi myös muita materiaaleja, jotta saadaan riittävä lämpöeriste esim. omakoti- tai kerrostaloon.

Lämpökapasiteetilla tarkoitetaan kappaleen kykyä varastoida lämpöä ja sen yksikkö on joulea celsiusastetta ja kilogrammaa kohti ($\text{J} / \text{kg}^\circ\text{C}$). Materiaalina normaalin puun lämpökapasiteetti vaihtelee tapauskohtaisesti riippuen mm. sen tiheydestä, lämpötilasta ja kosteudesta. Männyn keskimääräinen lämpökapasiteetti on noin $2300 \text{ J} / \text{kg}^\circ\text{C}$, jonka on tutkittu olevan lähes sama kuin tiilellä. Lämpökapasiteetin puolesta puulla on hyvät ominaisuudet toimia eristeenä, esimerkkinä hirsitalot. (Puuinfo b.)

Lämmönjohtavuudeltaan puu on suhteellisen huono, mikä johtuu sen huokoisuudesta. (Puuinfo b.) Lämmönjohtavuudella tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin materiaali johtaa lämpöä. Lämmönjohtavuuden yksikkö on watti kelvin metriä kohden (W / mK) tai watti celsiusaste metriä kohden ($\text{W} / \text{m}^\circ\text{C}$). Ohjearvoista voidaan yhteenvetona todeta, mitä pienempi lämmönjohtavuus materiaalilla on, sitä paremmin se eristeenä toimii. Esimerkiksi teräksen lämmönjohtavuus on $40\text{--}50 \text{ W} / \text{m}^\circ\text{C}$ ja näin ollen eristeenä se on täysin kelvoton. (Hautala & Peltonen 2011, 166–167.) Puumateriaaleista esim. männyn lämmönjohtavuuden arvo vaihtelee syiden suunnasta riippuen $0,14\text{--}0,22 \text{ W} / \text{m}^\circ\text{C}$ ja näin ollen sen käyttö eristeenä on mahdollista (Puuinfo b).

CLT on perusmateriaaliltaan puuta ja sen lämpöominaisuuksiin vaikuttavat samat tekijät kuin tavalliseen puuhun. CLT:n lämmönjohtavuus on puun tapaan huono vain noin $0,11 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, jolloin vastavasti eristeenä se todetaan hyväksi. Lämpökapasiteetin arvo CLT:llä on noin $1600 \text{ J} / \text{kg}^\circ\text{C}$, joka ei ole

aivan samaa tasoa normaalin puun kanssa, mutta ohjearvojen perusteella CLT:n lämpökapasiteetti todetaan hyväksi. (Stora Enso 2014.) Lämmönjohtavuuden kaavasta saadaan johdettua kaava lämmönläpäisykertoimelle eli U-arvolle. U-arvon avulla saadaan tietoa siitä, millainen rakenne esim. ulkoseinässä on oltava, jotta sen lämmöneristyskyky olisi riittävä. U-arvon ja materiaalien lämmönjohtavuuksien avulla saadaan määriteltä mm. kuinka paksu on mahdollisen mineraalivillaeristeen ulkoseinärakenteessa oltava, kun Suomen rakentamismääräysten mukaan asuinrakennusten ulkoseinän lämmönläpäisykerroin on oltava vähintään $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Hautala & Peltonen 2011, 166-170.)

CLT:n toimivuutta lämmöneristeenä havainnollistaa liite 1, Verhoilemattoman CLT-levyn U-arvo (LIITE 1). Liitteestä 1 ilmenee, että U-arvon ollessa asetetun määräyksen mukainen eli $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, seinän paksuuden on oltava noin 0,65 metriä (LIITE 1). CLT-levyjen paksuus on Stora Enson valmistamana enintään 0,40 m (Stora Enso 2014a, 4). Tästä voidaan todeta, että verhoilematonta CLT-levyä ei ole mahdollista ja järkevää käyttää yksinään seinärakenteena ja eristeenä, vaan lisäksi tarvitaan erillinen eriste esim. mineraalivilla. Liitteessä 1 on lisäksi havainnollistettu CLT:n toimivuutta eristeenä esimerkillä milloin CLT:n U-arvo täyttää hirsiseinälle asetetun lämmönläpäisykerroin vaatimuksen $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$. Verhoilematon CLT-levy täyttää hirsiseinälle asetetun vaatimuksen $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ jo noin 0,26 metrin paksuisena (LIITE 1).

CLT soveltuu lämpöenergisten ominaisuuksiensa osalta hyvin talojen runkojen rakennusmateriaaliksi. Sen lämmönjohtavuus on suhteellisen huono, joka mahdollistaa sen käytön eristävänä rakennusmateriaalina. Vaikka CLT:tä kutsutaan usein lämpöpatteriksi ja puu itsessään eristää lämpöä esim. betonia paremmin, ei CLT yksinään ole riittävä eristämään esim. asuinrakennuksen seiniä, vaan vaatii toimiakseen erillisen eristeen. Lisäämällä esim. 100 mm paksuun CLT-levyyn 240 mm villaeriste, saadaan lämmönläpäisykertoimeksi eli U-arvoksi $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Stenroos 2015, 12-13). Tämä osoittaa, että CLT:llä on loistavat mahdollisuudet toimia rakennusmateriaalina. Eristeiden valinnasta lisää tietoa kappaleessa 6.2 CLT:n yhdistettävyyttä muihin materiaaleihin.

3.2.2 Lämmön siirtyminen rakenteessa

Lämpöenergia siirtyy vapaana energiana korkeammasta lämpötilasta alempaan lämpötilaan. Lämpö siirtyy rakenteessa kolmella eri tavalla, johtumalla, säteilemällä ja konvektiolla. Siirtymiseen rakenteessa voivat vaikuttaa lisäksi lämmönlähteet, materiaali, väliaineet ja ilman virtaus. (Siikanen 2008,7.)

Lämmön johtuminen tapahtuu kiinteissä aineissa ja nesteissä. Johtumisessa lämpö siirtyy aineen sisällä, kun molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen. Lämpö virtaa lämpimästä kylmempään päin. (Siikanen 2008, 77.)

Säteilylämpöä rakennustekniikassa esiintyy lyhytaaltoisena auringonsäteilynä sekä pitkäaaltoisena kappaleiden säteilemänä lämpönä. Esimerkkinä voidaan käyttää rakennuksessa olevaa ikkunalasia, jonka läpi säteilee helposti auringon lyhytaaltainen lämpösäteily. Vastaavasti ikkunan takana, rakennuksessa olevat kappaleet säteilevät pitkäaaltoista lämpöä, joka puolestaan säteilee erittäin huonosti lämpöä ikkunan läpi. (Siikanen 2008, 77.)

Konvektiossa eli virtauksessa lämmön siirtyminen tapahtuu pakotetusti tai luonnollisesti kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Pakotetussa konvektiossa jokin ulkopuolinen voima, kuten tuuli, koneellinen ilmanvaihto tai ihmisten liikkuminen saa aikaan kaasun tai nesteen liikkumisen. Vastaavasti luonnollisessa konvektiossa nesteen tai kaasun liikkumisen saa aikaan lämpötilaerojen aiheuttama tiheysero. Konvektio voi tapahtua myös näiden kahden yhtäaikaisessa vaikutuksessa. (Siikanen 2008, 77.)

3.3 Kosteusominaisuudet

Tässä luvussa käsitellään CLT:n kosteusteknistä toimivuutta rakennusmateriaalina CLT:n ominaisuuksien ja siitä tehtyjen tutkimusten sekä Suomen rakennusmääräysten avulla. Lisäksi käsitellään kosteuden siirtymistä rakenteessa.

3.3.1 CLT:n kosteusteknisyys

Puurakentamisessa on lämpöominaisuuksien ohella huomioitava myös toinen erityisen tärkeä ominaisuus, puun kosteusteknisyys ja kosteustekninen toimivuus. Puun rakenne laajenee ja kutistuu kosteuden ja kuivumisen myötä ja sen lujuusominaisuudet vaihtelevat kosteuden muuttuessa. Jatkuvalle kosteudella on vaikutus myös puun homehtumiseen ja lahoamiseen. Homehtuminen tapahtuu nopeimmin kosteissa ja lämpimissä olosuhteissa ja näin esim. Suomen vaihtuvat ilmasto-olosuhteet asettavat puurakentamiselle omat haasteensa. Tutkimusten mukaan tavallisessa puussa home ei pääse etenemään puun pintaa syvemmälle ja näin ollen se ei vaikuta puun lujuuteen. Puun pinnalle muodostuva home

voi kuitenkin aiheuttaa terveydellisiä riskejä ja siksi sen muodostumista on pyrittävä ehkäisemään. (Puuinfo a.)

Ympäristöministeriön laatimien rakentamismääräysten mukaan asuinrakennus täytyy rakentaa ja suunnitella siten, ettei sisäisistä tai ulkoisista kosteuslähteistä muodostuva vesi, lumi tai vesihöyry pääse tunkeutumaan rakennuksen sisälle tai sen rakenteisiin haittaa aiheuttaen. Näin pyritään estämään myös hygieni- ja terveystarkistusten aiheutuminen rakennuksen käyttäjille tai naapureille. (Ympäristöministeriö 1998b, 3.)

CLT:llä on todettu olevan hyvä kosteustekninen toimivuus. Ristiinlaminoinnin ansiosta CLT on materiaalina hyvin muotopysyvä ja sen kosteuseläminen on melko pientä verrattuna tavalliseen puuhun. CLT-levyjen kosteusprosentti on noin 12 %. (Stora Enso 2014, 4,7.) Alla oleva taulukko havainnollistaa CLT-levyn mittavaihteluita puun kosteusprosentin muuttuessa. Taulukossa esimerkkinä toimii 5000 mm pitkä ja leveä ja 140 mm paksu CLT-levy. (Brännare 2012, 8.)

TAULUKKO 1. CLT-levyn mittavaihtelu puun kosteusprosentin muuttuessa (mukaillen Brännare 2012, 8)

	Materiaalin mitta	Kosteus- %	Mittavaihtelu/Kosteus- % muutos	Mittavaihtelu
Suunta	[mm]	[%]	[%]	[mm]
Pituus/leveys	5000	12	0,02	3,0
Paksuus	140	12	0,24	1,0

Taulukosta on nähtävissä, että CLT:n kosteuden muutokset ovat hyvin minimaalisia, kun normaalin puun mittavaihtelu esim. säteen suunnassa on noin 3-4 % ja syiden suunnassa 0,2-0,4 % (Puuinfo a.).

Yksi merkittävä ominaisuus liittyen rakennusmateriaalina toimivan puun kosteusteknisyyteen on sen hygroskooppisuus. Hygroskooppisuudella tarkoitetaan materiaalin esim. puun kykyä sitoa itseensä ilmassa olevaa kosteutta sekä luovuttaa sitä ympärillä olevan kosteuden muuttuessa. (Puuinfo a.) Puupohjaisilla aineilla hygroskooppisuus on suurin ja esim. mineraalivilloilla se on lähes olematon. Tilassa, jossa lämpötila ja ilmankosteus ovat vakiot, materiaalin kosteuspitoisuus on tasapainossa. Rakentamisessa hygroskooppisuus tulee esiin mm. eristeiden valinnassa, kun mietitään esim. kosteuden liikkeitä seinärakenteissa ja mietitään sopivia eristeitä. Eristeiden valintaa käsittelemme tarkemmin luvussa 6.2 Yhdistettävyyden. (Siikanen 2008, 82.)

Runkorakenteessa CLT-levy asennetaan rakenteen sisäpinnalle, jolloin se toimii rakenteessa myös höyrysulkuna. Höyrynsululla tarkoitetaan rakenteeseen mahdollisesti erikseen asennettavaa ainekerros-

ta, jonka tehtävänä on estää haitallisen vesihöyryn kulkeutuminen rakenteisiin tai rakenteissa. (Ympäristöministeriö 1998b, 2.) Puun hyvän hygroskooppisuuden ja tiiviin rakenteen ansiosta vesihöyry ei normaaliolosuhteissa kulkeudu myöskään CLT-rakenteen läpi, jolloin erillistä ilma- ja höyrysulkua ei tarvita (Brännare 2012, 28).

CLT:n kosteusteknisiin ominaisuuksiin ja soveltuvuuteen liittyviä tutkimuksia on tehty Suomessa muutamia. Lapin ammattikorkeakoulu suoritti Kemin Digipolis Oy:n kampuksen alueelle rakennetulle CLT-koetalolle vuonna 2014 yhdessä Lappia ammattiopiston ja Digipolis Oy:n kanssa tutkimuksen, jossa tutkittiin CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa eri vuodenaikoina. Tutkimuksen analysointiraportteja julkaistiin neljä. Jokainen raportti sisältää tulokset ja analysoinnin kolmen kuukauden mittausjaksolta. (Autioniemi, Sirkka, Pirttinen & Vatanen 2014, 7, 11-12.) Käsittelen seuraavaksi tutkimuksen raporttien Q1 ja Q3 kosteusteknisiä tuloksia. Q1-raportti on ensimmäinen julkaistu analysointiraportti, jossa on tutkittu koetalon lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa ajanjaksolla tammi-maaliskuu 2014. Mittaus tapahtui rakenteisiin sijoitettujen mittauspisteiden avulla, jotka mittasivat lämpötilaa ja suhteellista kosteutta 1 minuutin välein. (Autioniemi, Sirkka, Pirttinen & Vatanen 2014, 7.)

Q1-raportissa tulosten yhteenvetona todettiin, että CLT-talossa on hyvä lämpö- ja kosteustekninen toimivuus. Kosteusteknisen toimivuuden osalta todettiin, että CLT-levy toimii rakenteessa tehokkaana höyrysulkuna estäen samalla haitallisen diffuusion – eli kosteuden liikkumisen vesihöyrynä rakenteen läpi – ja näin erillistä höyrynsulkua ei tarvita. Mittauksessa kosteutta ei siirtynyt CLT-levyn läpi juuri lainkaan. (Hautala & Peltonen 2011, 204; Autioniemi, Sirkka, Pirttinen & Vatanen 2014, 23-24.) Suhteellinen kosteus pysyi koko tutkimusjakson ajan turvallisella tasolla. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös homeen kasvun muodostumista rakenteissa. Homeen kasvun tapahtuminen vaatii ympäristössä tietyt lämpö- ja kosteusolosuhteet eli mm. matala lämpötila vaatii suuremman suhteellisen kosteuden, jotta homeen kasvu on mahdollista. Homeen kasvun tulosten osalta Q1-raportissa todettiin lyhyesti, että CLT-koetalon rakenteissa ei ole esiintynyt riskiä homeen kasvun suhteen. (Autioniemi, Sirkka, Pirttinen & Vatanen 2014, 23-24.)

Q3-analysointiraportti kattaa tulokset mittausjaksolta heinä-syyskuu 2014. Mittaukset toteutettiin samalla tavalla kuin Q1-mittausjaksolla. Analysointiraportissa tutkimuksen tulokset liittyen koetalon kosteusteknisyyteen olivat samankaltaiset kuin Q1-raportissa. Oikein käytettynä CLT-levy toimii rakenteessa höyrysulkuna, jonka ansiosta talon kosteusteknisyys on toimiva. Myöskään homeen kasvua rakenteissa ei tällä mittausjaksolla esiintynyt. Mittausjakson ajankohdalla ei siis ollut vaikutusta ra-

kennuksen kosteustekniseen toimivuuteen eli voidaan todeta, että esim. Suomen vaihtuvat ilmasto-olosuhteet eivät vaikuta CLT:n hyvään kosteustekniseen toimivuuteen. (Autioniemi, Pirttinen & Vatanen 2015, 16, 31-32.) Tutkimuksessa analysoitiin myös ulkoseinissä käytettävien eristeiden hygroskooppisuutta, joka vaikuttaa myös rakennuksen kosteustekniseen toimivuuteen. Ulkoseinissä eristeinä käytettiin kahta erilaista eristemateriaalia, mineraalivillaa ja puukuitueristettä. Hygroskooppisuuden osalta tutkimuksessa havaittiin mineraalivillan hygroskooppisuuden olevan pientä, jolloin kosteusolosuhteet eristetilan sisällä reagoivat nopeasti ympäröiviin, muuttuviin olosuhteisiin. Puukuitueristettä käytettäessä hygroskooppisuus on suurempaa, jolloin ulkoilman olosuhteiden suuret muutokset eivät vaikuta sen kosteuspitoisuuteen yhtä nopeasti. (Autioniemi, Pirttinen & Vatanen 2015, 13,17,31.) Aiemmin, edellä toteamani CLT:n hyvä kosteustekninen toimivuus osoittautui siis oikeaksi toteamukseksi.

CLT:llä on hyvä kosteustekninen toimivuus, mutta sen kosteussuojaaminen on silti tärkeää. Jo rakennusvaiheessa on tärkeää suojata käytettävät rakenteet ja tarvikkeet kosteudelta. Suomen rakennusmääräyksissä painotetaan, että rakennusaineet ja -tarvikkeet on kosteussuojattava mahdollisimman nopeasti paikalle tuomisen jälkeen, sillä kosteus tai auringonpaiste saattavat vaikuttaa niiden rakenteisiin. Tämä koskee erityisesti puupohjaisia materiaaleja kuten CLT-levyjä. Kosteus ja auringonpaiste saattavat turvottaa tai taivuttaa levyjen rakennetta ja aiheuttaa esim. pinnan halkeilua. Mikäli CLT-levyt pääsevät kastumaan, on niiden annettava kuivua riittävästi ennen kuin ne asennetaan paikalleen. Mitä ohuempi CLT on, sitä nopeammin se kuivuu. Riittävän kuivumisen jälkeen rakenteet voidaan pinnoittaa tai peittää. (Ympäristöministeriö 1998b.)

CLT-levyt ja -elementit pyritään suojaamaan kosteudelta asennusvaiheessa esim. rakennusaikaisen sääsuojan avulla. Tässä tilanteessa sääsuojalla tarkoitetaan rakennuksen ympärille rakennettavaa suojaa. Kyseisen sääsuojan on katsottu olevan kosteusteknisesti paras ja toimivin ratkaisu, joka mahdollistaa talvirakentamisen sekä rakentamisen jatkumisen huonoista tai vaihtuvista sääolosuhteista huolimatta. Alla olevassa kuvassa on esimerkki rakennuksen ympärille rakennettavasta sääsuojasta (KUVA 3). (Puuinfo f, 7.)



KUVA 3. Sääsuoja puukerrostalon ympärillä (Puuinfo f, 7)

3.3.2 Kosteuden siirtyminen rakenteessa

Kosteuden syntymisen lähteinä rakennuksissa ja rakenteissa ovat mm. sadevesi, pohjavesi, ulko- ja sisäilmankosteus sekä maan ja rakennuksen kosteudet. Rakennuksessa rakenteiden kostuminen, jatkuva kosteus tai hidas kuivuminen voivat aiheuttaa kosteusvaurioita. Kosteusvaurioiden syynä on kosteuden pääseminen rakenteeseen, joka puolestaan on seurausta mm. mahdollisista suunnitteluvirheistä, rakennustyövirheistä, huonoista rakennusmateriaaleista tai käyttövirheistä. Kosteus kulkeutuu huone- tai ulkoilmasta rakenteisiin joko diffuusiolla, konvektiolla tai kondensoitumalla. (Siikanen 2008, 80-83.)

Diffuusiossa kosteus liikkuu vesihöyrynä rakenteen läpi, yleisimmin lämpimästä tilasta kylmempään, ilman kosteuseron mukaan. Diffuusiossa kosteus pyrkii rakenteen läpi tilaan, jonka ilman vesihöyryn osapaine on pienempi. Rakennuksen rakenteissa diffuusio tapahtuu huokoisten materiaalien, kuten eristeiden kohdalla. Tämä on sallittu ja positiivinen diffuusio, sillä kosteus kulkeutuu materiaaliin ja poistuu toiselta puolelta. Kosteusvaurioita syntyy, mikäli vesihöyryä tunkeutuu liikaa seinärakenteisiin. Kosteusvaurioiden ehkäisemiseksi rakenteeseen on jätettävä vesihöyrytiivis kerros lämmöneristeen ja lämpimän sisätilan väliin. CLT-rakenteessa CLT-levy toimii höyrynsulkuna, joka tällöin estää haitallisen vesihöyryn kulkeutumisen rakenteeseen. (Siikanen 2008, 84.)

Konvektiossa kosteus siirtyy ilmavirran mukana. Rakennuksessa ilmavirtaus tapahtuu huokoisten, ilmaa läpäisevien aineiden sekä rakennusosissa olevien rakojen läpi. Konvektio voi olla esim. ilman

tiheyseroista johtuva luonnollinen konvektio tai esim. rakenteessa olevien reikien kautta ilmanpaine-erojen vaikutuksesta tapahtuva pakotettu konvektio. Konvektiolla voi olla rakenteessa kahdenlaisia vaikutuksia. Ilman virratessa rakenteesta ulospäin, kosteus saattaa tiivistyä ja keräytyä rakenteeseen, kun ilma jäähtyy virratessaan sisältä ulos. Mikäli virtaus tapahtuu ulkoa sisälle, ilma lämpenee ja samalla virtaus kuivattaa rakennetta. Tasakattoisissa rakennuksissa tapahtuvat vuodot ovat usein seurausta konvektiossa siirtyneestä kosteudesta. (Pirttinen 2014, 28 [Björkholtz 1997]; Siikanen 2008, 84.)

Kondensoitumisessa ilmassa oleva kosteus eli vesihöyry tiivistyy vedeksi, ympäröivää ilmaa kylmemmälle ja kovalle pinnalle ilman kosteuden ollessa 100 %. Rakenteissa kondensoituminen eli veden tiivistyminen tapahtuu joko rakenteen pinnalla tai sisällä rakenteessa. Kosteusvaurioiden ehkäisemiseksi rakenteet on tehtävä lämpimältä puolelta riittävän vesihöyrytiiviiksi ja rakenteen vesihöyrynvastuksen tulee pienentyä kylmempään ilmaan eli ulos siirryttäessä. Jotta kosteus ei kulkeudu rakenteen läpi rakennuksen sisätiloihin, käytetään rakenteessa höyrynsulkua. Höyrynsulkuna voi toimia esim. muovi, vuorauspaperi tai tiivis rakennuslevy, jonka tehtävänä on estää haitallisen vesihöyryn kulkeutuminen rakenteeseen. CLT-rakenteissa erillistä höyrynsulkua ei yleensä tarvita, vaan CLT-levy rakenteessa toimii höyrynsulkuna estäen haitallisen kosteuden kulkeutumisen. (Siikanen 2008, 84; Brännare 2012, 12.)

3.4 Äänitekniset ominaisuudet

Puurakenteisen asuinrakennuksen äänieristys poikkeaa kivirakenteisen asuinrakennuksen äänieristyksestä. On tutkittu, että puurakenteisessa rakennuksessa erityisesti matalataajuiset äänet kuuluvat voimakkaampina kuin kivirakenteisessa. Tämä on usein suurin haaste puukerrostalon äänieristystekniikkaa suunniteltaessa. Sen sijaan korkeataajuiset äänet kuten puhe, saadaan puurakenteisissa rakennuksissa tehokkaasti eristettyä. Tämän seurauksena äänimaailmaa puurakenteisessa asuinrakennuksessa kuvaillaankin usein miellyttäväksi. (Woodfocus 2004, 15.)

3.4.1 Äänieristys

Hyvien rakenne-, kosteus- ja lämpöominaisuuksien lisäksi CLT:tä markkinoidaan hyvät äänieristysominaisuudet omaavaksi rakennusmateriaaliksi (Puurakentajat). CLT yksinään on puun tapaan melko kevyt materiaali ja sen äänieristys ei ole kovinkaan hyvä. Puun paksuus ei vaikuta äänieristykseen,

vaan äänen heijastuminen johtuu puun tiiviistä, ääntä heijastavasta rakenteesta. Puurakentamisessa suurimpana haasteena on usein riittävän äänieristyksen saavuttaminen ja värähtelyn ehkäiseminen. Erityisesti asutuissa monikerroksisissa puutaloissa haasteena on riittävän askeläänieristyksen saavuttaminen ja yleisesti, etteivät asuinhuoneiston äänet erityisesti välipohjan kautta kuuluisi viereiseen tai alla olevaan huoneistoon. (Puuinfo d.)

Ratkaisu puurunkoisen asuinrakennuksen äänieristyksen toteutumiseen on saatu käyttämällä monikerrosrakenteita. Seinärakenteeseen on lisätty jokin huokoinen materiaali esim. lämmöneriste ja näin saatu aikaan ääntä vaimentava kerros. Lämmöneriste vaimentaa ääntä resonoinnin eli oman värähtelynsä avulla. Myös rimoitusta ja rei'itystä on käytetty puupinnoille äänen vaimennuksen saamiseksi. (Puuinfo d.)

Rakennusten äänimaailmaa voidaan arvioida kahden tunnusluvun avulla. Ilmanäänieristysluvulla R_w tai R_w' mittaustavasta riippuen, tarkoitetaan rakenteen kykyä eristää ääntä tilojen välillä. Rakentamismääräysten mukaan ilmanäänieristysluvun tulee olla asuinhuoneiston ja sitä ympäröivien tilojen välillä vähintään 55 desibeliä (dB). Toinen lukuarvo, jonka avulla rakenteen ääniominaisuuksia tutkitaan ja arvioidaan on askeläänieristys $L_{n,w}$ tai $L'_{n,w}$ asuinhuoneistojen välisissä välipohjissa. Askelääni on ääntä, joka aiheutuu esim. lattialla kävelemisestä tai tavaroiden siirtelystä. Rakentamismääräysten mukaan askeläänitasoluku asuinhuoneistossa saa enimmillään olla 53 dB. Askeläänieristystä suunnitellessa ja tehdessä on kuitenkin suositeltavaa pyrkiä mahdollisimman hyvään askeläänieristävyYTEEN. (Ympäristöministeriö 1998a, 2,5.)

CLT:tä markkinoidaan sisäiseltä äänimaailmaltaan miellyttäväksi, mutta toisaalta riittävän äänieristyksen saavuttaminen on liitetty myös haasteeksi CLT-rakentamisessa. Jani Brännare on opinnäytetyössään laskenut ja analysoinut CLT:n äänieristysominaisuuksia rakentamismääräysten pohjalta ja tuloksena todennut, että vaikka CLT-levy väliseinissä tai välipohjassa olisi 300mm, on sen ilmaääneneristysluku kuitenkin vain noin 49 desibeliä (dB). Brännaren mukaan CLT:n paksuuden kaksinkertaistaminen ei myöskään riitä täyttämään rakentamismääräystä. Rakenteen jäykkyys, massa ja tiiveys vaikuttavat sen ääneneristystoimivuuteen. CLT-levy on rakenteeltaan massiivinen ja kuitenkin myös tiivis ja jäykkä, mutta siitä huolimatta se ei yksinään ole riittävä ääneneristäjä. (Brännare 2012, 10-12.) CLT:n äänieristyksen tutkimisessa vertailuna voidaan käyttää esim. betoniseinää. Jo 180 mm paksun betoniseinän ilmaääneneristävyys on noin 58 dB (Woodfocus 2004, 19).

Ratkaisuja, joiden avulla ilmanääneneristyslukua ja askeläänieristystä saadaan CLT-rakenteisessa talossa parannettua, ovat jonkin huokoisen eristeen esim. villan tai levyn lisääminen seinärakenteeseen. Välipohjissa kelluvat valulaatat betonista ovat yksi toimivaksi todetuista ääneneristysratkaisuista. Niiden avulla saadaan lisää massaa välipohjaan, jolloin myös ääneneristävyys paranee. Toinen melko yleinen vaihtoehto on akustisen jousirangan lisääminen välipohjaan. Akustinen jousiranka toimii jousen periaatteella vaimentaen ylhäällä olevan välipohjan värähtelyä. (Gröhn 2015, 16-18.) Näiden ratkaisujen avulla saadaan CLT-rakenteiseen asuinrakennukseen toimiva äänieristys.

3.4.2 Värähtely

Värähtelyä eli resonanssia syntyy, kun ääniaalto kohtaa rakenteen. Värähtely synnyttää ääntä rakenteen toiselle puolelle ja värähtelyn suuruus riippuu värähtelevän rakenteen massasta. Raskas ja tiheä rakenne värähtelee kevyttä rakennetta vähemmän äänenpaineen ollessa sama, joten raskaat rakenteet kuten betoni ja tiili eristävät paremmin ääntä, kuin esim. puu, materiaalinpaksuuden ollessa sama. (Woodcock 2004, 18-20.)

Tavalliset puurakenteet ovat massaltaan kevyitä ja värähtely on puurakenteille ominaista. Värähtely onkin yksi suurimmista haasteista puurakentamisessa. CLT-levyt ovat rakenteeltaan massiivipuisia, joten niiden värähtelyominaisuudet ovat tavallista puuta parempia, mutta eivät riitä teräsbetonirakenteiden tasolle. Värähtelyä pyritään estämään mm. seinien erilaisten liitosten avulla. Tämä on helppo toteuttaa, kun elementti- ja tilaelementti-rakentamisessa jokaisella elementillä on omat lattia- ja seinälevyt. (Stenroos 2015, 10-11.) Edellä mainittu akustinen jousiranka vaimentaa myös värähtelyä tehokkaasti välipohjissa.

3.5 Ympäristöystävällisyys ja ekologisuus

Ympäristöystävällisyys ja ekologisuus mainitaan myös etuina CLT-rakentamisessa. Puu on ympäristöystävällinen ja luonnonmukainen rakennusmateriaali. Kasvaessaan se sitoo itseensä ilmakehän hiili-dioksidia, rakentamisessa puun käyttö hillitsee ilmastonmuutosta ja elinkaarensa aikana sen valmistuksesta ja käytöstä rakennusmateriaalina aiheutuu huomattavasti vähemmän ilmasto- ja ympäristöhaittoja kuin esim. betonista, teräksestä tai tiilestä. Helposti kierrätettävänä, puu luokitellaan usein myös ilmas-

tonmuutosta hidastavaksi tai ehkäiseväksi rakennusmateriaaliksi, eikä sen riittäminen tule aiheuttamaan ongelmia tulevaisuudessakaan. (Puuinfo c.)

Rakentaminen kasvaa maailmalla jatkuvasti ja kuluttaa raaka-aineita enemmän kuin mikään muu teollisuuden ala. Vastaavasti se tuottaa myös arviolta yli 40 % jätteistä. Uusiutuvana raaka-aineena puun jalostuksen aiheuttamat ympäristöhaitat ja energiakulutus ovat minimaaliset tiileen tai betoniin verrattuna. Suomen ja Euroopan metsissä puuta kasvaa enemmän kuin sitä käytetään. Suomessa metsän hiiharanto kasvaa päivässä saman verran, kuin rakennusteollisuus käyttää puuta raaka-aineena vuodessa. (Puuinfo c.)

Puu säästää energiaa myös käytössä. Rakentamisen ympäristövaikutuksia syntyy valmistuksen lisäksi myös rakennusten käytöstä, niiden lämmityksestä, jäähdytyksestä, liikenteestä sekä käytöstä poistamisesta. Kevyenä materiaalina puun paino on vain 1/5 osa kivitalon painosta. Puutalot ovat paloturvallisia ja niiden sisäilman laatu on hyvä, ne toimivat lämmöneristeenä ja tasaavat huonetilojen kosteuden vaihteluita. Käytöllä ja hyvällä ylläpidolla rakennukset ja rakenteet säilyvät käyttökelpoisina vuosikatoja. Nämä kaikki ominaisuudet tekevät puusta ja samoilla ominaisuuksilla myös CLT:stä erittäin energiatehokkaan rakennusmateriaalin. (Puuinfo c.)

CLT-elementtien tuotannossa tarvittava raaka-aine pyritään tarkan etukäteissuunnittelun avulla hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti. Tuotannossa jäljelle jäävä puujäte tai elinkaarensa päähän tullut CLT on helppo kierrättää tai käyttää bioenergiaksi. Suurimmat CLT-toimittajat kuten Stora Enso, ovat saaneet CLT-levyilleen PEFC-merkinnän. PEFC-sertifioinnin avulla voidaan varmistaa, että CLT-tuotteisiin käytetty raaka-aine on peräisin kestävästi hoidetuista metsistä ja puun alkuperä on kattavan alkuperäkontrollin piirissä. (Stora Enso 2014, 3,6.)

Vaikka CLT onkin perusmateriaaliltaan puuta, on huomioitava, ettei CLT-rakennusten tai CLT-elementtien rakenne ole sama kuin kevyellä puukehikolla tai liimapuulla. Joni Rytönen toteaaakin opinnäytetyössään CLT:n olevan massiivirakenteinen, jolloin sen rakenteeseen tarvitaan enemmän puuta, kuin keveään puukehikkorakenteeseen. Lisäksi CLT:n valmistuksessa käytetään mm. liimaa, joka myös vaikuttaa rakenteen ympäristöystävällisyyteen. Stora Enso pyrkii käyttämään liimana ympäristöystävällisempää formaldehyditöntä liimaa, mutta esim. ulkomailla liimana käytetään useimmin formaldehydiä sisältävää liimaa, joka on ympäristöä kuormittava aine. CLT-rakennuksen ympäristöystävällisyydestä ei ole tehty tarkkoja tutkimuksia ja Rytönen toteaaakin, että CLT:n ympäristöjalanjälki ei välttämättä ole samaa tasoa kevyetrunkoisen rakennuksen kanssa, eikä näin voida todeta CLT:n ole-

van ympäristöystävällisempi rakennusvaihtoehto kuin betoni. (Rytönen 2010,11 [FPInnovations 2011].)

3.6 Turvallisuus

Paloturvallisuus, rakenneturvallisuus ja rakennuksen vaikutukset käyttäjiensä terveyteen ovat pääkoh-
tia CLT-rakentamisen turvallisuusteknisessä toimivuudessa. Rakennusten turvallisuuteen ja terveyteen
kiinnitetään yhä enemmän huomiota ja erityisesti puurakentamisessa esiin nousee rakennuksen palo-
turvallisuus, rakenneturvallisuus sekä esim. homeen muodostumisen osalta rakennusten vaikutukset
ihmisten terveyteen. Tässä kappaleessa käsitellään CLT:n paloturvallisuuteen, rakenneturvallisuuteen
ja terveellisyyteen liittyviä ominaisuuksia ja vaatimuksia.

3.6.1 Paloturvallisuus

CLT:n kaltaisen massiivisen puulevyn on todettu kestävän tulipalossa tavallista puuta paremmin. Syy-
nä tälle on CLT:n tiheys ja kosteuspitoisuus. CLT-levyissä kosteutta on noin 12 % ja syttyäkseen, kos-
teuden on ensin kokonaan haihduttava CLT-levyn sisältä. Palotilanteessa CLT-levy ei pala, vaan sen
pinta alkaa hiiltä. Hiiltymisen suojaa levyn sisempiä kerroksia vaurioitumasta ja näin estää rakennetta
romahtamiselta. Itävaltalainen Holzforschung Austria on Stora Enson toimesta testannut CLT:n palon-
kestävyyttä eurokoodien mukaisesti ja tuloksena CLT:n palonkestävyys on todettu erinomaiseksi. (Sto-
ra Enso 2013a.)

Rakennukset jaetaan kolmeen paloluokkaan (TAULUKKO 2). Palomääräysten perusteella puu- ja
CLT-rakenteiset kerrostalot kuuluvat luokkaan P2. (Ympäristöministeriö 2011, 10.) Suomen palomää-
räykset vaativat, että yli 2-kerroksisiin puukerrostalojen on kestettävä paloa 60 minuuttia, eli ne kuulu-
vat paloluokkaan P2. Määräysten mukaan rakennuksien paloturvallisuutta on parannettava laitteiden ja
pintaosien avulla, jolloin kaikkiin yli 2-kerroksisiin puukerrostaloihin on asennettava automaattinen
palonsammutusjärjestelmä eli sprinkleri-järjestelmä. Tämä tekee puurakenteisesta kerrostalosta yhä
paloturvallisemman. (Puuinfo 2011b.)

TAULUKKO 2. Rakennuksen paloluokat (Ympäristöministeriö 2011, 10)

Paloluokka P1	Rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan kestävän palossa sortumatta. Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu
Paloluokka P2	Rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset mahdollisesti edellisen luokan tasoa matalammat. Turvallisuustaso saavutetaan asettamalla vaatimuksia pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille. Rakennuksen koko ja henkilömäärä rajoitetut.
Paloluokka P3	Rakennuksen kantavilla rakenteilla ei palonkestävyyden suhteen erityisvaatimuksia. Turvallisuustaso saavutetaan rajoittamalla kokoa ja henkilömääriä.

Rakennuksissa esim. seinien paloluokat ilmoitetaan Eurokoodeilla REI 60, REI 90 ja REI 120. Rakennusosat jaetaan näihin luokkiin sen perusteella, miten ne kestävät paloa. Kirjaintunnus REI ilmoittaa rakenteen kantavuuden, tiiveyden ja eristävyysajan kestämisen. Kirjainyhdistelmän perässä oleva luku ilmoittaa palonkestävyysajan minuutteina. (Rakentaja 2011.)

Stora Enson nettisivuilta löytyvissä paloturvallisuuden tutkimusraporteissa todetaan, että esim. paloluokan REI 60 saavuttamiseen seinärakenteessa, riittää ainoastaan 100 mm paksu CLT-levy. Paloluokkaan REI 120 pääseminen vaatii 100 mm paksun CLT-levyn lisäksi noin 40 mm paksun mineraalivillan sekä 12,5 mm paksun palonsuojalevyn. Välipohjissa paloluokkaan REI 90 pääseminen edellyttää raporttien mukaan esim. 140 mm paksun CLT-levyn, 40 mm paksun mineraalivillan ja 12,5 mm paksun palonsuojalevyn. Myös 160 mm paksu CLT yksinään välipohjassa, täyttää paloluokan REI 90 vaatimukset. (Stora Enso 2013a.)

Suomen rakentamismääräyksissä rakennusmateriaalit jaetaan vielä erikseen eri luokkiin niiden vaikutuksesta palon syttymiseen ja leviämiseen, savuntuottoon ja palavaan pisarointiin. Kirjain A-F kuvaa tarvikkeiden osallistumista paloon, s1-s3 kuvaa savun tuottoa palossa ja viimeinen d0-d2 palavan materiaalin tuottamia palavia pisaroita tai osia. Esimerkkinä betoni kuuluu luokkaan A1 ja kipsilevy luokkaan A2. Rakennuspuutavara kuten CLT-levyt kuuluvat luokkaan D. CLT:n luokka kokonaisuudessaan on D-s2, d0. Tämä tarkoittaa materiaalia, jonka osallistuminen paloon on hyväksyttävissä, savuntuotto on vähäistä ja palavia pisaroita tai osia ei esiinny. (Puuinfo 2012, 2,6.) Pintojen ja pintakäsittelyn vaikutuksesta CLT:n paloturvallisuuteen käsittelyn kappaleessa 6.3.2 Paloturvallinen pinta.

3.6.2 Rakenneturvallisuus

CLT on rakenteellisesti kevyt, mutta myös erittäin luja ja jäykkä materiaali. CLT-rakenteet ovat puurakenteiden tavoin lisäksi myös erittäin joustavia, jolloin niiden käyttö on turvallista myös maanjäristysalueilla. (Stora Enso 2014, 7.) Nopean pystytysaikansa ansiosta ne soveltuvat hyvin luonnonkatastrofialueille, jossa talojen nopea pystytys asuntotuhojen jälkeen on erittäin tärkeässä asemassa. Euroopassa CLT-rakennuksista suunnitellaan parhaillaan myös hätämajoitusratkaisuja. Stora Enson toimitusjohtaja Jari Suomisen mukaan nopea CLT-rakentaminen voisi olla ratkaisu maahanmuuttajien nopeaan majoitustilatarpeeseen ja yleisesti luonnonkatastrofien jälkihoitoon. (Puuinfo 2016.)

CLT-rakenteet luokitellaan erittäin turvallisiksi rakenteiksi. Tiiviin ja lujan rakenteen ansiosta myös paloturvallisuus ja muut tekniset ominaisuudet ovat CLT-rakennuksissa hyvät. Oikein rakennettuna ja käytettynä CLT-rakenteet ovat kestäviä ja pitkäikäisiä. (Stora Enso 2014, 6-7.)

3.6.3 CLT:n vaikutukset hyvinvointiin

CLT:n kosteusteknisyyttä on testattu muutamia kertoja ja se on havaittu erittäin hyväksi, jonka myötä myös rakennuksen sisäilman laatu on todettu miellyttäväksi. CLT-rakennuksissa homeongelmat ovat virheettömän suunnittelun ja rakentamisen myötä harvinaisia. Rakennuksen sisäilma pysyy hyvänä, kun rakennuksen rakenteissa käytetään hengittäviä ja kosteutta sitovia materiaaleja ja eristeitä. Tällöin ehkäistään myös kosteus- ja homeongelmien syntyminen. (Puurakentajat.)

Puulla mainostetaan olevan myös psykologisia vaikutuksia ihmisten hyvinvointiin. Vaikutus johtuu luultavasti luonnonmukaisen materiaalin tuomisesta asuinrakennukseen näkyväksi osaksi esim. sisäseinissä. Crosslamin mukaan on tieteellisesti todistettu, että puulla on useita vaikutuksia rakennuksen käyttäjien hyvinvointiin. Esimerkkejä hyvinvoinnin näkymisestä ovat oppimisen tehostuminen ja keskittymisen paraneminen luokkahuoneissa ja potilaiden nopeampi paraneminen sairaalatiloiissa. Vaikutus johtuu Crosslamin suunnittelijoiden mukaan puun lämpötekniisyydestä, akustiikasta ja rauhoittavasta, ajattomasta ulkomuodosta. (Oy Crosslam Kuhmo Ltd 2014b.)

4 Kustannukset

CLT-rakentamisen yhtenä heikkoutena ja haasteena pidetään sen kustannuksia. CLT-rakentaminen on kokonaisuudessaan esim. tavallisen puurankatalon rakentamista kalliimpaa, mutta esivalmistettujen CLT-elementtien ansiosta, taloudellista säästöä saadaan, kun rungon pystytys on nopeampaa ja työvaiheita on vähemmän. CLT-levy ei itsessään ole kovinkaan kallis materiaali, mutta kustannuksia syntyy, mm. kun tarvitaan erillisiä eristeitä, jotta saadaan mm. tarvittava lämpö- ja äänitekkinen toimivuus. Kemin Digipolis Oy laati vuonna 2014 CLT- ja puurankatalon kustannusvertailun. Vertailukohteeksi oli suunniteltu mahdollisimman samanlainen fiktiivinen kohde, jossa toisessa runkona toimivat CLT-elementit ja toisessa sahatavara. Alla olevassa taulukossa 2 on yhteenveto molempien rakennustapojen aiheuttamista laskennallisista kustannuksista (TAULUKKO 3). (Teriö, Sorri, Helin, Sorri & Helamo 2014, 1-2.)

TAULUKKO 3. CLT- ja puurankatalon laskennalliset kustannukset (mukaillen Teriö, Sorri, Helin, Sorri & Helamo 2014, 7)

Kustannusvertailu	Puurankatalo	CLT-talo	Erotus
Työpalkat	26912 €	16448 €	10463 €
Rakennusaineet ja tarvikkeet	54159 €	44944 €	9215 €
Alihankinnat ja palvelut	32469 €	70237 €	– 37768 €
Sosiaalikulut	19646 €	12007 €	7638 €
Yhteensä veroton	133185 €	144524 €	– 11339 €
Yhteensä (veroton +alv 24 %)	165150 €	179210 €	– 14060 €
Maanrakennus	7000 €	7000 €	0 €
Talotekniikan järjestelmät	31000 €	31000 €	0 €
Rakennuttaminen	10000 €	10000 €	0 €
Suunnittelu	15000 €	18000 €	– 3000 €
Liittymät	5000 €	5000 €	0 €
Yleiskulut ja kate	25000 €	25000 €	0 €
Alv	54284 €	57726 €	– 3441 €
Avaimet käteen hinta, alv 24 %, ilman tonttia ja varainsiirtoveroa	280470 €	298250 €	– 17780 €
€/ka-m2	1934,27 €	2056,90 €	– 122,62 €
Työtunnit yhteensä	1428 h	888 h	540 h

Taulukosta 3 on havaittavissa, että CLT-talon rakennustekniset kustannukset ovat noin 14 100 euroa puurankataloa suuremmat, joka johtunee pääasiassa alihankinnan ja palvelujen suuresta tarpeesta CLT-

rakentamisessa. Kaiken kaikkiaan CLT-talo on noin 17 800 € kalliimpi kuin puurankatalo. Suurin erotus kustannuksissa muodostuu alihankinta ja palvelukustannuksista, joita tarvitaan mm. elementtien valmistuksessa ja pystytyksessä. Myös suunnittelussa syntyy kustannuksia. Vertailuraportin mukaan 3000 euron lisäys CLT-talon suunnittelukustannuksiin aiheutuu elementtisuunnittelusta. CLT on materiaalina Suomessa uusi ja melko tuntematon, jonka vuoksi sen kustannustehokkuus ei ole vielä hui-pusaan. CLT-elementtien valmistuskustannuksiin vaikuttavat monet eri tekijät, kuten CLT-levyn määrä, elementtien muoto ja erilaiset tarvittavat työstöt. Raportissa CLT-elementtien hinnan on arvioitu olevan noin 500€/m³. Esimerkkikohteeseen CLT-elementtejä tarvitaan noin 55 m³. Rahtikustannukset lisättyinä CLT-toimituksen verollisen kokonaishinnan esimerkkikohteessa on arvioitu olevan noin 42 500€. (Teriö, Sorri, Helin, Sorri & Helamo 2014, 8.)

Suurimpana kustannusetuna CLT-rakentamisessa suhteessa puurankatalon rakentamisessa katsotaan vähäisempi työmäärä. Laskelmien mukaan CLT- talon rakentamisessa työmäärän työmaalla on arvioitu olevan 540 tuntia vähäisempi kuin puurankatalon rakentamisen työmäärä. Tällä on suoranainen vaikutus kustannuksiin, sillä sen on laskettu tuovan noin 21 000 euron säästöt. Työtuntien perusteella CLT-talon rakennusaika on noin 4,5 kuukautta. Puurankatalon rakentamisen kestoksi on arvioitu noin 6 kuukautta. Aika säästöä saadaan paikalle tuoduista, valmiiksi rakennetuista elementeistä, joka vähentää työvaiheita ja nopeuttaa rakentamista. (Teriö, Sorri, Helin, Sorri & Helamo 2014, 8.)

Kustannuslaskentaan liittyy kuitenkin joitakin epävarmuustekijöitä ja virhemahdollisuuksia, joten kustannuksista voidaankin puhua vain ”noin-muodossa”. On huomioitava, että kustannusten suuruus on tapauskohtaista ja siihen vaikuttavat monet eri muuttujat. (Teriö, Sorri, Helin, Sorri & Helamo 2014, 8-9.)

5 Valmistus

Tässä pääluvussa käydään läpi tyypillinen CLT:n valmistusprosessi sekä kuvataan lyhyesti CLT:n asennusprosessi ja laadunvalvonnan ja -varmistuksen osuus CLT:n valmistuksessa.

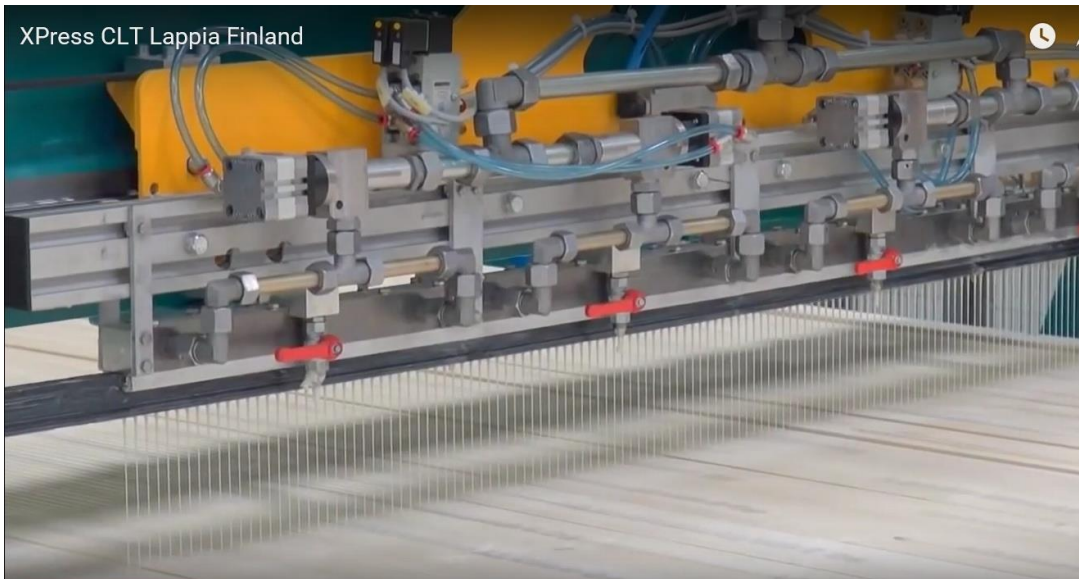
5.1 Valmistusprosessi

CLT:n valmistusprosessi alkaa raaka-aineen hankinnasta ja valinnasta. Raaka-aineena toimiva puutavara lajitellaan lujuuden mukaan ja kuivataan. Erityisesti kuivaus on erittäin tärkeä vaihe, koska sillä on suuri vaikutus lopputuotteen laatuun. Tämä vaihe prosessissa tapahtuu usein sahalla, josta lujuuslajiteltu ja kuivattu raaka-aine siirretään CLT-tehtaalte, missä varsinainen valmistusprosessi alkaa. (Helamo 2014, 8.)

Tehtaalte puutavarasta työstetään lamellit eli CLT-levyn puulevykerrokset. Lamelleja valmistetaan pääasiassa kahden kokoisia. Lyhyen sivun lamellit siirretään suoraan höyläykseen, mutta pidemmälle sivulle tuleville lamelleille tehdään tarvittaessa esim. sormijatkaminen, jotta lamelleista saadaan halutun mittaisia. Sormijatkaminen tapahtuu poistamalla lamelleista huono materiaali pois, jonka jälkeen liitokset työstetään ja liimataan kappaleet yhteen. Sormijatkamisen on oltava tarkkaa ja laadukasta, jotta saadaan aikaan luja ja kestävä puulevy, myös liitoskohdilta. Seuraavaksi kaikki lamellit höylätään, jotta lamellien pinnat saadaan tasaiseksi ja liimaus onnistuu. Höyläyksen jälkeen lamellit katkotaan halutun pituisiksi ja siirretään seuraavaan vaiheeseen eli ladontaan, liimaukseen ja puristukseen, jossa CLT-levy saa varsinaisen muotonsa. (Tervo 2015, 15-17.)

Ladonnassa lamellikerrokset siirretään liimoitukseen nostimen avulla. Liimauksessa lamellikerrokset liimataan ristikkäin kerros kerrallaan (Oy CrossLam Kuhmo Ltd 2014a, 4). Liimana Suomessa käytetään pääasiassa polyuretaaniliimaa (Puuinfo 2011). Liiman määrä ja liimaukseen kuluva aika ovat riippuvaisia valmiin levyn halutusta koosta sekä liiman tyypistä. Liimaustapoja on pääasiassa kahdenlaisia. Stora Enso käyttää liimaustapana syrjäliimausta. Syrjäliimaus on harvinaista ja myös vaikea toteuttaa, mutta sen on tutkittu parantavan levyn mekaanisia ominaisuuksia ja tiiveyttä. Syrjäliimauksessa liima levitetään lamellien reunoille, jolloin tuloksena saadaan tiivis levy. Yleisimmin liimauksessa käytetään havainnollistavan kuvan 4 mukaista menetelmää, lapeliimausta. Lapeliimauksessa liima levitetään lamellien keskiosaan. (KUVA 4). Liimauksessa on otettava huomioon, että kerroksien lamel-

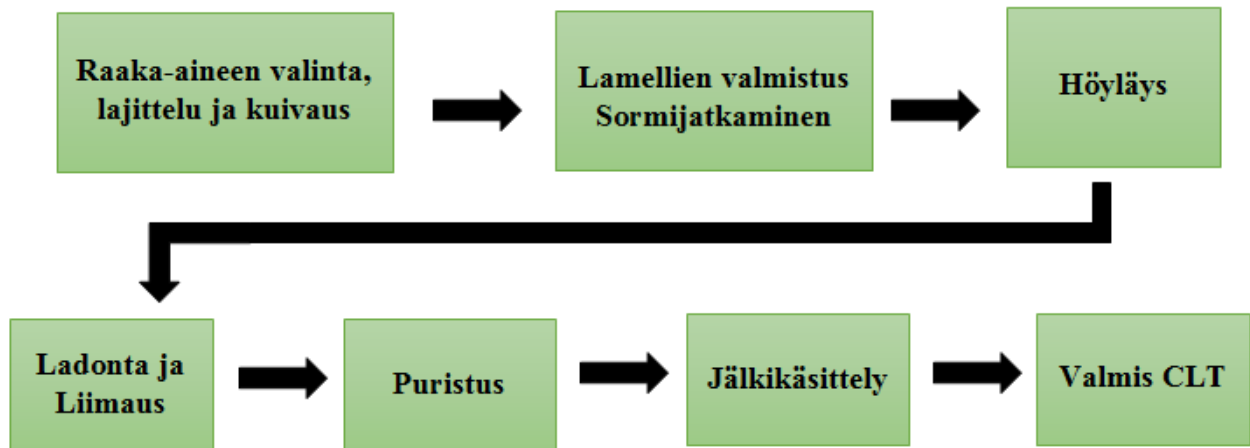
lien tulee olla paksuudeltaan samanlaisia ja pinnoiltaan tasaisia, jotta liimauksesta tulee tiivis ja levystä ei tule kiero. (Jansson 2015, 18-19.)



KUVA 4. CLT:n lapeliimaus (Ahoranta 2015)

Jotta levyistä saadaan tukevia ja kestäviä, tehdään niille liimauksen jälkeen lape- tai syrjäpuristus, jossa lamellikerrokset puristetaan hydrauliiikan tai paineilman avulla tiiviiksi ja yhtenäiseksi CLT-levyksi (Helamo 2014, 19-20). Puristus on yksi tärkeimpiä CLT:n valmistusvaiheita, koska siinä ristiinliimatut lamellit puristetaan yhtenäiseksi levyksi, jolloin jäykkä ja kantava rakenne muodostuu.

Puristuksen jälkeen CLT-levy on periaatteessa valmis. Seuraavat vaiheet valmistusprosessissa tehdään tulevan käyttötarkoituksen tai asiakkaan toiveen mukaan. Näitä vaiheita ovat hionta, pinnoitus, erilaiset työstöt sekä tarvittavien eristeiden ja muiden lisämateriaalien asennus. Valmiit CLT-levyt siirretään joko suoraan asiakkaalle tai varastoon odottamaan kuljetusta. Yhteenvetona alla olevaan kuvioon on koottu CLT:n valmistusprosessin pääkohdat (KUVIO 2). (Helamo 2014, 21.)



KUVIO 2. CLT:n valmistuksen prosessikuvaus (Helamo 2014, 11-21)

Valmistusprosessiin kuuluvat lisäksi varastointi- ja pakkausvaiheet sekä laadunvarmistus ja -valvonta. Erityisesti varastointivaiheet ovat valmistusprosessissa tehdaskohtaisia. Varastointivaiheita voi sisältyä jokaisen varsinaisen prosessivaiheen kohdalla. CLT:n varastoinnin on tapahduttava sateelta ja kosteudelta suojatussa tilassa. Pakkausvaihe on usein prosessin viimeinen vaihe. Valmis tuote pakataan ennen kuljetusta asiakkaalle ja tarvittaessa myös ennen kuin se siirretään valmistuotevarastoon.

5.2 Asennus

Tässä luvussa käsitellään lyhyesti CLT-rakenteiden paikalleen asennus sekä esitellään lyhyesti miten liitokset voidaan toteuttaa. CLT-liitoksia voidaan toteuttaa usein eri tavoin ja markkinoilla on olemassa useita erilaisia kiinnikkeitä. Luvussa 5.2.3 esitellään yksi uusimmista markkinoiden erikoiskiinnikkeistä sekä vertaillaan sen käyttöä normaaleihin, yleisimmin käytettyihin kiinnikkeisiin. Luvussa 5.3.3 käsitellään laadunvarmistuksen ja -valvonnan osuutta CLT:n rakentamis- ja valmistusprosessissa.

5.2.1 Asennusprosessi

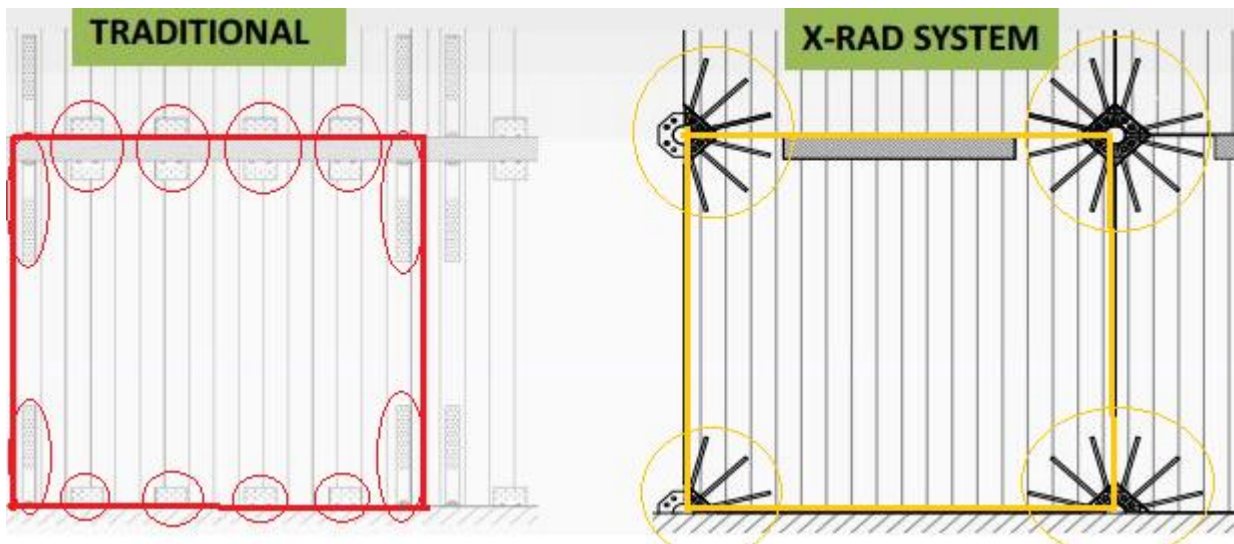
CLT-levyt valmistetaan tehtaalla valmiiksi runkoelementeiksi, eli niihin voidaan tehtaalla kiinnittää valmiiksi mm. tarvittavat eristeet sekä työstää ovi- ja ikkuna-aukot. Tällöin valmiiden elementtien varsinainen paikalleenasennusprosessi on erittäin nopea ja helppo toteuttaa. Valmiiden elementtien ansiosta rakennusaika lyhenee, ja työmaalla tehtävien työvaiheiden määrä pienenee ja näin sääsetään ajan lisäksi myös kustannuksissa. (Stora Enso 2013c.) Valmiit elementit kuljetetaan rakennuspaikalle, jossa

ne nostetaan paikalleen ja ruuvataan kiinni toisiinsa. Kiintopuun internetsivuilta löytyy tarkka ja mielenkiintoinen kuvasarja CLT-koetalon pystytyksen eri vaiheista. (CLT Kiintopuu.) Tässä opinnäytetyössä en ota kantaa CLT:n asennuksen käytännön toteuttamiseen.

5.2.2 Liitokset

Rakennusten pystytysvaiheessa CLT-elementteihin joudutaan tekemään useita liitoksia, sillä yksittäisten levyjen koko on rajallinen ja liitoksia tarvitaan, kun valmiit CLT-elementit kiinnitetään toisiinsa sekä, kun ne kiinnitetään perustuksiin. Liitokset, eli levyjen liittäminen toisiinsa, tehdään useimmiten pitkillä ruuveilla CLT-levyn läpi toiseen levyyn sekä kulmaradoilla. (Naskali 2015.)

Lisäksi on olemassa muutamia erikoiskiinnikkeitä. Esimerkkinä italialainen yritys Rothoblaas on tuonut uusimpana tuotteena markkinoille elementtien kulmiin asennettavan X-RAD kiinnitysjärjestelmän (KUVA 5). Erona perinteisiin kiinnitysmenetelmiin ovat tarvittavien kiinnikkeiden määrän vähyys ja perustuksiin asti yltävät kiinnikkeet. X-RAD kiinnittimet sijoitetaan levyjen kulmiin, jolloin ne voidaan asentaa levyihin jo tehtaalla. Tällöin saadaan standardi-kiinnitys, joka mm. vähentää työmaalla tapahtuvien virheiden mahdollisuutta. X-RAD menetelmän käytöstä on myös hyötyä taloudellisessa mielessä. Helsingissä puupäivillä X-RAD kiinnitysjärjestelmää esitelleen Rothoblaasin edustajan Jarno Naskalin mukaan, käyttämällä X-RAD menetelmää, säästetään elementtien asennusajassa jopa 50 %. Kiinnikkeiden määrä vähenee Naskalin mukaan yli 70 %, joka myös vaikuttaa rakentamisen taloudelliseen puoleen. (Naskali 2015, 18-20, 30.) CLT-liitoksina on tähän mennessä pääasiassa käytetty erilaisia, yksinkertaisia ruuviliitoksia, joita esim. Lappian ammattiopisto on käyttänyt CLT-koetalon liitoksissa. Liitoksissa on käytetty ruuvien lisäksi myös kulmarautoja ja naulalevyjä. (Kekäläinen 2015, 23.)



KUVA 5. Perinteinen CLT-levyjen kiinnitysmenetelmä vrt. X-RAD (mukaillen Naskali 2015, 18-20)

5.3 Laadunvalvonta ja -varmistus

CLT-tuotannossa laadunvarmistus ja -valvonta ovat tärkeitä. Kun valmistetaan rakennusmateriaalia, jonka on oltava juuri niin kantava, jäykkä ja kestävä kuin sen markkinoinnissa luvataan, on erittäin tärkeää valvoa tuotannon laatua ja varmistaa, että annetut kriteerit tulevat täytetyiksi. CLT-levyjä käytetään pääasiassa asuin-, työpaikka- ja harrasterakennuksien rakennusmateriaalina. Näin ollen pahimmillaan virheet CLT:n laadussa voivat aiheuttaa esim. kantavan rakenteen sortuessa suurta vaaraa rakennuksessa oleville ihmisille.

Tuotteiden laatu ja turvallisuus voidaan varmistaa mm. CE-merkin avulla. Vuonna 2013 voimaan tulleen rakennustuoteasetuksen myötä CE-merkintä tuli pakolliseksi kaikille rakennustuotteille, jotka kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin sovellutusalueeseen ja joiden siirtymäaika on umpeutunut. Puurakentamiseen liittyvien harmonisoitujen tuotestandardien siirtymäajat ovat umpeutuneet, eli CE-merkintä on niille pakollinen. Harmonisoidulla tuotestandardilla (hEN) tarkoitetaan tuotteen tekniset vaatimukset, laadunvalvonnan toimenpiteet sekä CE-merkinnässä ilmoitettavat tiedot sisältävää asiakirjaa. CLT:lle on parhaillaan valmisteilla harmonisoitu tuotestandardi, joka valmistuu arviolta vuonna 2015-2017. (Puuinfo 2013.) CE-merkintä tuotteessa on merkki siitä, että kyseinen tuote kattaa sitä koskevien direktiivien vaatimukset eli olennaiset turvallisuutta, terveyttä, ympäristöä ja kuluttajan-suojaa koskevat vaatimukset. CE-merkintä on myös valmistajan takuu siitä, että kyseisen merkinnän omaava tuote on EU:n laatuvaatimusten mukainen. (Euroopan komissio 2011.)

Rakennusmateriaalia tai tuotetta, jolla ei ole CE-merkintää ei voida käyttää työmailla. CLT:n tapauksessa CE-merkintä on vasta valmisteilla, jolloin sitä ei vielä toistaiseksi vaadita CLT:n rakennusmateriaalina toimimiseen. Rakentamiskokoelman mukaan kerrosliimattujen, kantavien rakenteiden valmistaminen vaatii aina ympäristöministeriön hyväksymän kolmannen osapuolen laadunvalvontaa. CLT:n tapauksessa on mahdollista hankkia vapaaehtoinen sertifikaatti ympäristöministeriön hyväksymän arviointilaitoksen (ETA) kanssa yhteistyössä. Vapaaehtoinen sertifikaatti on voimassa vain kotimaassa. Vientiin on hankittava tuotestandardin puuttuessa lupa CE-merkintään Eurooppalaisen Teknisen Arvioinnin eli ETA:n pohjalta. (Puuinfo 2013; Luoma 2016, 28.)

CLT-rakentamisessa laadunvarmistus alkaa jo tuotannossa. CLT:n tuotantoprosessi toimii säältä suojatussa ja sertifioitun laadunvalvontaprosessin alaisuudessa. Tuotantohallien olosuhteiden on oltava lämpötilan ja suhteellisen kosteuden osalta kunnossa. Tehtaaseen tulevan puutavaran laatua tarkkailaan mm. sen kosteuden, lämpötilan, mittatarkkuuden ja laadun osalta. Käytettävältä raaka-aineelta vaaditaan PEFC-ympäristösertifikaatti, jonka avulla todetaan puun alkuperä ja että se on peräisin kestävästi hoidetuista metsistä. Valmistuksessa yksittäisiä prosesseja voidaan valvoa keräämällä tietoja erityisesti lamellien sormijatkamisesta sekä höyläys-, liimaus ja puristusvaiheista, jotka ovat tärkeimpiä vaiheita levyjen valmistuksessa. (Helamo 2014, 22-28.)

Laadunvalvontaa suoritetaan myös testaamalla tuotteita. CLT:n valmistuksessa testauksia suoritetaan puulamellien sormijatkamisessa, jossa saumakohtaa voidaan taivuttaa. CLT-levyjen liimasaumoille tehdään usein myös delaminointikoe eli otetaan levystä näytekiekko. Näytekiekko otetaan valmiista CLT-levystä ja sen avulla voidaan varmistaa tuotteen laatu ja havaita mahdollisia eräkohtaisia virheitä. Näytekiekosta jäävä reikä on paikattava huolellisesti, ettei sen ottaminen vaikuta negatiivisesti levyn rakenteeseen. Testausta voidaan suorittaa myös koelajittelemalla lamellit etukäteen. (Helamo 2014, 24.)

Konkreettisen tuotetestauksen kuten delaminointikokeen lisäksi voidaan tehdä myös muita mittauksia. Mitattavia kohteita voivat olla esim. höyläysvaiheessa höylättyjen lamellien pinnan laatu sekä liimausvaiheessa liiman koostumus ja levitysmäärä. Näillä molemmilla vaiheilla on suuri vaikutus valmiin CLT:n tasaiseen ja kestäväan rakenteeseen, joten mittauskin on usein aiheellinen. Mittauksia voidaan suorittaa tarpeen mukaan myös muissa valmistusprosessin vaiheissa. (Helamo 2014, 24.)

6 Käyttö

Tässä pääluvussa käsitellään CLT:n käyttökohteita ja -tapoja. Lisäksi käsitellään CLT:n monipuolisuutta selvittämällä sen yhdistettävyyden mahdollisuutta muihin materiaaleihin. Monipuoliset, tekniset pintakäsittelymahdollisuudet tukevat CLT:n valintaa rakennusmateriaaliksi. Opinnäytetyön aikana olen vertaillut CLT:n ominaisuuksia betoniin ja tavallisen liimapuun ominaisuuksiin. Tämän pääluvun lopussa käsittelen kokonaisuudessaan CLT:n eroavaisuuksia ja yhteneväisyyksiä verrattuna betoniin ja liimapuuhun.

6.1 Käyttökohteet ja -tavat

CLT:n käyttökohteita ja -tapoja on useita. CLT:tä käytetään ulkoseinärakenteissa, kantavina väliseiniinä, kattorakenteissa ja välipohjissa. Käyttökohteita voivat olla kerrostalot, rivitalot, omakotitalot, erilaiset tehdashallit sekä erilaiset julkiset rakennukset kuten urheiluhallit ja koulut. Erityisesti kerrostalorakentaminen on lisännyt rakennusteollisuuden kiinnostusta CLT-rakentamisessa. (Stora Enso 2014.) Kerrostalorakentaminen onkin jo yleistä Euroopassa, jossa CLT -rakentamisella on jo varsin pitkä historia. Englannissa on valmistettu jo vuonna 2008 kahdeksankerroksinen CLT-rakenteinen kerrostalo. (FPInnovations 2010,14).

Suomessa CLT:n käyttö yleistyy koko ajan. Suomen tunnetumpia CLT-rakennuksia ovat mm. Luontokeskus Haltia Espoon Nuuksiossa (KUVA 6) sekä Seinäjoelle vuonna 2013 valmistunut maailman ensimmäinen CLT-levyrakenteisiin tilaelementteihin perustuva kuusikerroksinen puukerrostalo Lintuviita 2 (KUVA 7). Alla olevien kuvien perusteella voidaan myös todeta, että CLT on erittäin monipuolinen tulevaisuuden rakennusmateriaali, sitä hyödyntäen on Suomessakin toteutettu erittäin korkeatasoisia ja monipuolisia rakennuksia. (Stora Enso 2014.)



KUVA 6. Suomen luontokeskus Haltia Espoossa (Stora Enso 2014, 8)



KUVA 7. Puukerrostalo Lintuviita 2 Seinäjoella (Stora Enso 2014, 9)

6.2 Yhdistettävyys

CLT:n käyttömahdollisuuksia on useita. CLT soveltuu yksinäänkin moneen erilaiseen kohteeseen, ja yhdistettynä muihin materiaaleihin sen käytettävyyden on todettu olevan lähes rajatonta. Perusmateriaaliltaan puuta olevat CLT-levyt on helppo yhdistää muihin materiaaleihin. Mielikuvitus ja yhä kehittyneempi CNC-tekniikka tuovat yhä mielenkiintoisempia ja modernimpia ratkaisuja rakentamiseen. (Brännare 2012, 9.)

CLT:n monipuolinen yhdistettävyys tulee esille jo sen rakennusvaiheessa käyttökohteesta riippuen. Luvussa 3.1 käsitellään CLT:n lämpötekniisiä ominaisuuksia ja luvun yhteenvetona todetaan, että toimiakseen esim. asuinrakennuksen lämmöneristävänä rakenteena, CLT:n lisäksi tarvitaan erillinen eris-

te, jotta lämpötekniset vaatimukset täyttyvät (LIITE 1). CLT:n hyvä yhdistettävyyys tuo mahdollisuuksia myös lämpöeristeen valintaan. Lämpöeristeet toimivat rakennuksessa usein myös äänen ja kosteuden eristeinä. Näin ollen on erittäin tärkeää miettiä ja suunnitella etukäteen huolella, millainen seinä tai välipohjarakenne rakennukseen halutaan ja mitä materiaaleja eristeissä halutaan suosia.

Jani Brännaren ja kanadalaisen tutkimuskeskus FPInnovations:in mukaan soveltuvimmat lisäeristeet CLT-elementteihin ovat rakenteeltaan huokoiset mineraalivilla ja puukuitueristys. Huokoinen eristys soveltuu parhaiten, koska se päästää kosteutta lävitseen. Esimerkiksi erilaiset polystyreenituotteet, kuten EPS- ja XPS, eivät juuri päästä kosteutta lävitseen, jolloin kosteus voi tiivistyä CLT-levyn ja eristeen rajapintaan ja näin aiheuttaa kosteusvaurioita levyssä. (Brännare 2012, 28 [FPInnovations 2011].) Erilaiset mineraalivillat ovat hyviä lämmön- ja ääneneristäjiä. Niiden käyttö onkin varsin yleistä CLT-rakenteissa. Puukuitueriste sen sijaan toimii CLT-levyn tavoin. Hygroskooppinen puueriste sitoo puun tapaan itseensä kosteutta ja vastaavasti myös luovuttaa sitä kuivaessaan. Kovat villaeristeet voidaan helposti kiinnittää CLT-levyihin joko liiman tai erilaisten mekaanisten kiinnikkeiden avulla (Brännare 2012, 28.)

Perusmateriaaliltaan puuta oleva CLT on helppo yhdistää esim. teräkseen, lasiin ja betoniin (CLT Kiintopuu). CLT-rakentamisessa betonia käytetään usein äänieristykseenä. Välipohjaan asennettava kelluva betonilaatta pienentää rakennuksen värähtelyä ja toimii hyvänä askeläänieristäjänä. Lasin osalta esimerkiksi ikkunoiden ja ovien liittäminen CLT-runkoon asennuspielien avulla on yksinkertaista. (Brännare 2012, 12, 48.)

CLT-levy asennetaan rakenteen sisäpinnalle, jolloin lisäeristeet ja ulkoverhous ovat vapaavalintaisia. Ulkoverhouksena voidaan käyttää esim. puu- tai tiiliverhous. Myös sisäpinnan osalta sisäverhous on vapaavalintaista. Valinnoissa on kuitenkin hyvä huomioida erityisesti paloturvallisuuteen ja kosteusteknisyyteen liittyvät tekijät. (CLT Kiintopuu.)

6.3 Tekninen pintakäsittely

CLT-levy asetetaan seinärakenteessa rakenteen sisäpinnalle. Palomääräysten salliessa CLT-levyä ei tarvitse erikseen pinnoittaa tai peittää, mutta tarvittaessa CLT-levy peitetään usein palonsuojaavalla kipsilevyllä. CLT-levyille voidaan tehdä paloturvallisen eristyksen lisäksi myös muita pintakäsittelymenetelmiä kuten akustinen eristys, pinnan profilointi, pinnan kuviointi, värjääminen, leikkaaminen ja

hiominen. Pintakäsitteltävät CLT-levyt ovat pääasiassa seinä- ja kattopintoja, joiden ominaisuuksia voidaan muokata ja parantaa pintakäsittelyllä. (Oy Crosslam Kuhmo Ltd 2014a, 7.)

Oikein toteutettu pintakäsittely tehostaa levyn teknisiä ja esteettisiä ominaisuuksia ja ylläpitää pinnan kuntoa. Suunniteltaessa CLT-levylle oikeanlaista pintakäsittely tapaa, on hyvä määritellä mm. millaista kulutusta kyseessä olevan pinnan on tarkoitus kestää. Pintakäsittelymenetelmä kannattaa valita sen mukaan, että käsittely kestää pintaan kohdistuvaa kulutusta ja näin säilyttää suojaavan ominaisuutensa mahdollisimman pitkään. (Jansson 2015, 38-39.)

Kosteusasiat on tärkeää huomioida CLT-levyä pinnoittaessa. Sulkevalla pintakäsittelyllä voidaan pyrkiä sulkemaan CLT:n pinta, mutta kosteutta pääsee rakenteeseen usein myös mm. ympäröivistä rakenteista, ulkoilmasta ja kondensation kautta. Kosteus voi kerääntyä käsittelyn alle pysyvästi. Läpikuultavasta pinnoitteesta kosteus pääsee liikkumaan huoneilman ja rakenteen välillä. Tässä ongelmaksi voi kuitenkin muodostua pinnan rapautuminen ja halkeilu. (Jansson 2015, 39-40 [Lambourne & Strivens 1999].)

6.3.1 Pintakäsittelymahdollisuudet

Emil Jansson on käsitellyt diplomityössään kattavasti CLT:n pintakäsittelymahdollisuuksia. Sisäkäytössä CLT:n pintakäsittelyä määrittävät sisäpinnoilla tapahtuva kulutus ja kosteus. Valmiiden CLT-levyjen pinnat hiotaan aina myös sisäpinnalta ja levy voidaan halutessa jättää pinnoittamatta. Pinnoittamaton CLT on kuitenkin herkkä likaantumiselle ja kulumiselle ja vaikuttaa myös levyn palonkestoon. Pinnoituksella CLT-levyn pinta suljetaan pinnalle laitettavan aineen avulla. Pintakäsittelyaineen valinta vaikuttaa CLT:n ulkonäköön, pinnan halkeiluun sekä mm. levyn kosteus- ja lämpötekniisyyteen sekä suojaa CLT:tä kulumiselta, likaantumiselta ja erilaisilta vaurioilta. (Jansson 2015, 38.)

Maalaus on yksi yleisimmistä pinnan värjäämiseen ja kuviointiin liittyvistä pintakäsittelytavoista. Maalit koostuvat kolmen pääkomponentin eli liuottimen, sideaineen ja pigmentin yhdistelmästä. Yhdistelmiä on useita erilaisia ja niiden valintaan pinnoitusaineksi vaikuttavat pinnanmateriaali, haluttu lopputulos ja tuleva käyttö. Maalaamalla pintaan luodaan peittävä kalvo, joka luo pintaan kestävä kiillon ja sävyn, jonka keston esim. auringon UV-säteily ei juuri vaikuta. (Jansson 2015, 40-42.)

Maalien pääkomponenttien yhdistelmistä voidaan muunnella erilaisia öljyjä, lakkoja, petsejä, silikaattimaaleja ja vahoja. Lakkojen avulla pinnalle luodaan maalin tapaan läpinäkyvä kalvo. Lakka on hyvä vaihtoehto silloin, kun puun pinta on pinnoitettava, mutta pintaa ei haluta värjätä. Lakattu pinta on usein kiiltävä ja sileä ja se on helppo pitää puhtaana. (Jansson 2015, 43-44 [Lambourne & Strivens 1999, 376-377].) Puupinnan lakkauksessa haasteena voi olla kosteudesta johtuva puun tummuminen ja sen näkyminen erityisesti vaaleilla pinnoilla. (Tikkurila 1996, 35-36). Lisäksi haasteena on lakkojen halkeilu erityisesti UV-säteilyn johdosta. UV-säteily kulkeutuu helposti värittömän lakkakerroksen läpi aiheuttaen pintaan halkeilua. (Jansson 2015, 44 [Lambourne & Strivens 1999, 377].)

Petsien käyttö pinnoitteena on yleistymässä. Petsi koostuu pääasiassa vedestä ja kiintoaineesta. Petsi imeytetään puusolukkoon, joka imeytyessään värjää puusolukon ja tuloksena puupinnasta saadaan tasaisesti värjäytynyt, kaunis pinta. Imeytymiseen vaikuttavat petsin ainesosat ja puun ominaisuudet. Petsatut pinnat viimeistellään usein lakkakerroksella, sillä veteen sekoitettu petsi ei muodosta puun pinnalle maalintapaista kestävä kalvoa. Petsattu pinta ei estä puussa tapahtuvia kosteusliikkeitä, puun hygroskooppista toimintaa tai uv-valon vaikutusta puun rakenteeseen, jolloin se ei ole kovinkaan kestävä tai suojaava vaihtoehto yksinään puupinnalle. Vähentämällä veden määrä petsissä saadaan aikaan kiintoainepitoisempi petsi, jonka vesihöyrynläpäisykyky on huomattavasti normaalia petsiä pienempi. Tässä tarkkuutta vaativat sideaineen oikea valinta ja annostelu hilseilyn estämiseksi. (Jansson 2015, 43-44 [Lambourne & Strivens 1999, 375-376].)

Silikaattimaalit ovat erittäin kovia, kestävät kulutusta ja läpäisevät myös höyryä. Ongelmana silikaattimaalien käytössä on höyrynläpäisyn vuoksi maalipinnan halkeilu. Lisäksi vaihtoehtoina on pinnan vahausta tai öljyminen. Öljyt muodostavat pinnalle suojaavan kalvon tai imeytyvät puuhun suojaen sitä. Öljyä käytetään harvoin yksinään pintakäsittelynä. Sitä voidaan hyödyntää erilaisissa suoja-aineissa ja petsituotteissa. (Jansson 2015, 43-45.)

6.3.2 Halkeilu

Yksi CLT:n merkittävistä ongelmista on sen pintahalkeilu. Halkeilun merkitys korostuu, kun CLT:tä käytetään näkyvänä pintamateriaalina. Emil Jansson on diplomityössään - CLT-rakennuskomponentin halkeilun hallinta urittamalla ja toiminta pientalon sisäilmastossa - perehtynyt CLT:n pintahalkeiluun ja sen estämiseen. CLT:n pintahalkeilua pyritään estämään esim. urittamalla pintaa tai erilaisten pintakäsittelyaineiden avulla. (Jansson 2015.) Suurin syy, miksi CLT:n pinta halkeilee, johtuu CLT-levyssä

olevien jännitteiden laukeamisista. Jännitykset voivat syntyä levyn valmistuksen eri vaiheissa tai seurauksena puun luontaisista ominaisuuksista.

Urituksen avulla pyritään estämään levyjen vääntyilyä. Levyjen vääntyminen synnyttää levyyn jännitteitä, joka taas edesauttaa halkeilun syntymistä. CLT-levyissä halkeilun ehkäisemiseksi on tehokkainta urittaa lamellien pinta. Urittamisen ansiosta jännitysjakauma levyn pinnassa muuttuu ja jännityshuippu siirtyy syvemmälle levyyn. Tällöin halkeama muodostuu levyn sisälle, eikä näy ulospäin. Halkeamat jäävät piiloon urien pohjalle ja levyn ulkonäkö on siistimpi. Uritus ei vaikuta negatiivisesti CLT-levyn ominaisuuksiin. Sen sijaan sen on tutkittu jopa parantavan mm. levyn lämmöneristävyyttä, jonka seurauksena eristeiden tarve rakenteissa pienenee. Tästä seurauksena on konkreettisia hyötyjä mm. lomarakentamisessa, kun erillisiä eristeitä ei välttämättä tarvita. (Jansson 2015, 30-37)

6.3.3 Paloturvallinen pinta

CLT:n on testattu olevan hyvin paloturvallinen materiaali. Peittämällä tai pinnoittamalla rakenteen sisäpinnalle tuleva CLT-levy, saadaan aikaan yhä paloturvallisempi pinta. Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa esitetään vaatimukset sisä- ja ulkopuolisten pintojen paloluokista. Luvussa 3.6.1 todetaan CLT-rakenteisten kerrostalojen kuuluvan paloluokan P2. P2-paloluokan 1-2-kerroksisissa rakennuksissa sisäpuoliset pinnat on verhoiltava B-s1, d0 luokkaan kuuluvalla rakennustarvikkeella. Yli 2-kerroksisissa rakennuksissa on lisävaatimuksia eli CLT-rakennuksen tapauksessa vaaditaan lisäksi automaattinen palosammutusjärjestelmä. Myös ulkoseinissä P2-luokan rakennuksissa puuulkoverhouksen ensimmäinen kerros sekä uloskäytävien ja varateiden ylä- ja alapuoliset pinnat on tehtävä vähintään B-s1, d0-luokan rakennustarvikkeesta. B-s1, d0 tarkoittaa luokkaa, jossa tarvikkeiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu, savuntuotto on erittäin vähäistä ja palavia pisaroita tai osia ei esiinny. (Teknos 2013, 3-5.)

Yleisimmin seinärakenteessa CLT-levyt peitetään kipsilevyllä. Tämä on tutkitusti paloturvallisuuden kannalta CLT:n paras palosuoja. (Stora Enso 2013a.) Pinnoitteiden osalta on olemassa erilaisia palonsuoja-aineita, joita voidaan käyttää niin sisä- kuin ulkotiloihin tulevien, puisten rakennustarvikkeiden suojaamiseen. Esimerkiksi Multiprotect palonsuoja-aineet soveltuvat sisä- ja ulkokäyttöön, ovat ympäristöystävällisiä, myrkyttömiä ja värittömiä. Multiprotect palonsuoja-aineet ovat tarkoitettu nimenomaan puisten rakennustarvikkeiden teolliseen sekä työmaalla tapahtuvaan palonsuojaukseen. Stora Enso käyttää puutuotteidensa suojaukseen nimenomaan multiprotect palonsuoja-aineita. (Puuinfo g.)

Lisäksi on olemassa mm. Woodstain palosuojapetsejä, joiden avulla saadaan B-s1, d0 palonsuojaluokitus sekä mm. Teknosafe 2407-maalausyhdistelmä, jolla vaadittu palonsuojaluokitus saadaan myös täytettyä. (Puuinfo h, Teknos 2013.)

6.4 CLT vrt. betoni

CLT eroaa betonista monella eri tavalla, mutta toisaalta CLT:llä on monia betonin kaltaisia ominaisuuksia ja se onkin nimetty rakennusmateriaalina yhdeksi merkittävimmistä betonielementin tulevaisuuden haastajista. CLT:n merkittävimpiä etuja betoniin verrattuna ovat sen rakenteellinen keveys, paloturvallisuus, ympäristöystävällisyys ja rakentamisen helppous ja nopeus. Lämpö- ja kosteusteknisesti CLT ja betoni ovat toimivuutensa osalta pääosin samaa tasoa. CLT-levyt ja -elementit valmistetaan kuivissa ja lämpimissä tehdastiloissa, jolloin esim. ulkoinen kosteus ei pääse vahingoittamaan niitä. (Oy Crosslam Kuhmo Ltd 2014c.) Äänieristysteknisyydessä CLT ei riitä betonin tasolle (Woodfocus 2004,19). CLT-rakenteisissa rakennuksissa esim. riittävään askeläänieristykseen päästään yhdistämällä CLT ja betoni, eli käytetään välipohjissa betonista kelluvalaattaa, jonka avulla saadaan toteutettua riittävä äänieristys (Puuinfo 2011a). Rakentamisessa CLT toimii puun tapaan hiilinieluna, eli CLT-rakennuksen runkoon varastoituu parhaimmillaan satoja tonneja hiilidioksidia, kun taas betonirakentaminen tuottaa hiilidioksidia useita tonneja. CLT-rakentaminen mielletään siis erittäin ekologiseksi rakentamiseksi verrattuna betonirakentamiseen. (Stora Enso 2014, 6). Palotilanteessa CLT-elementti alkaa hiiltä, mutta säilyttää rakenteellisen lujuutensa. Betonielementit sen sijaan alkavat murtua ja vääntyillä palotilanteessa, jolloin niiden rakenteellinen lujuus ja palonkesto aika pienenevät. (Brännare 2012, 20.)

Kustannusten osalta CLT ja betoni ovat samaa tasoa. Verrattuna betoniin CLT-rakentamisen etuna on sen rakentamisnopeus. CLT-rakennukset pystytetään valmiiksi tehdyistä elementeistä, jotka ovat masaltaan paljon betonia kevyempiä ja näin asennus työmaalla on nopeaa ja helppoa. Myös betonielementit tuodaan valmiina työmaalle, mutta niiden valmiusaste ei ole yhtä korkea kuin CLT:n. Lisäksi betonielementit ovat erittäin raskaita ja vaativat asennusprosessissa enemmän esim. suuria nostureita. Aikaa säästyy myös, kun CLT-rakentaminen ei vaadi betonirakentamisen tapaan kuivattamista. Sääsuojaa käytettäessä, voidaan CLT-rakennus pystyttää nopeasti, ilman kuivattamisesta aiheutuvia keskeytyksiä. Kokonaisuudessaan CLT-rakentamisessa rakennusajan on todettu olevan jopa yli 50 % lyhyempi kuin betonirakentamisessa. (Brännare 2012; Mikkola 2015, 13.)

Varsinaiselta rakenteeltaan CLT ja betoni ovat samankaltaisia. Molemmilla materiaaleilla on erittäin hyvät lujuusominaisuudet, mutta CLT:n etuna on lisäksi keveä ja materiaaliltaan helposti työstettävä rakenne, jolloin ulkoasun suunnittelussa ja toteutuksessa voidaan ottaa asiakkaiden ja arkkitehtien toiveet yhä enemmän huomioon. (Stora Enso 2013b.)

6.5 CLT vrt. liimapuu

CLT on monella tapaa verrattavissa liimapuuhun. CLT:n tekniset ominaisuudet esim. lämmönjohtavuus ovat liimapuun kaltaisia. Rakenteeltaankin CLT ja liimapuu ovat samankaltaisia. Monikerroksinen CLT-levy luokitellaan massiivipuulevyksi. Rakenteellisesti se eroaa tavallisesta liimapuulevystä hyvällä kantokyvyllään, joka on seurausta rakenteen ristiinliimauksesta. Liimapuussa rakenne on CLT:n kaltainen, mutta lamellikerrokset liimataan samansuuntaisesti. Tämä on suurin ja merkittävin eroavaisuus liimapuun ja CLT:n välillä. Kantokykynsä ja lujuutensa ansiosta CLT:tä käytetäänkin yleisimmin rakennusten kantavana rakenteena, kuten seininä sekä ylä- ja välipohjina. (Puuinfo e.) Valmistusprosessi molemmilla puutuotteilla on samanlainen ja molempien käyttökohteet yltävät niin julkisiin ja teollisiin rakennuksiin kuin pientaloihinkin. (Stora Enso 2014; Puuinfo e.) Kokonaisuudessaan CLT on erittäin tehokas ja toimiva rakennusmateriaali.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda mahdollisimman kattava tietopaketti CLT:stä, sen ominaisuuksista, käytöstä ja soveltuvuudesta rakennusmateriaalina. Tarkoituksena oli kerätä aiheesta jo olemassa oleva tieto, tutkia sitä kriittisesti ja pyrkiä erottamaan todenmukainen tieto markkinointitiedosta. Tavoitteena oli, että yritykset pystyisivät tulevaisuudessa hyödyntämään tätä CLT-tietopakettia.

Tässä työssä tarkoitukseni oli käsitellä CLT:n ominaisuuksia ja soveltumista rakennusmateriaaliksi. Tarkoituksena oli antaa melko tuntemattomasta CLT:stä yleiskuva liittyen siihen, millaisia mahdollisuuksia sillä on rakennusmateriaalina. Tässä työssä ei perehdytä juurikaan CLT-rakentamisen käytännön toteuttamiseen ja kaikkien mahdollisten ratkaisujen esittämiseen. Esim. CLT-levyjen liitoksia muihin rakenteisiin esitellään työssä varsin vähän verrattuna markkinoilla olevien liitosvaihtoehtojen määrään. Työn tarkoituksena oli vastata kysymykseen miksi CLT-rakentaminen on hyvä rakennusmuoto? Työn tuloksena onnistuin mielestäni kokoamaan kattavan tietopaketin CLT-rakentamisesta.

CLT:llä on paljon hyviä ominaisuuksia rakennusmateriaalina toimimiseen. Yhdistettynä oikeisiin materiaaleihin sen ominaisuudet paranevat entisestään ja oikein käytettynä ja suunniteltuna CLT-rakenteiset rakennukset kestävät vuosikymmeniä. Kustannustehokas ja toimiva rakennusratkaisu tekee CLT-rakentamisesta erittäin kilpailukykyisen rakennustavan mm. perinteisen betonirakentamisen rinnalle. Erityisesti Suomessa CLT:llä on erinomaiset mahdollisuudet kilpailukyvyn kasvattamiseen, kun hyödynnetään kotimaisesta raaka-aineesta esim. Oy Crosslam Kuhmo Ltd:n valmistamia CLT-tuotteita. Tämä lisää ekologisuutta ja kotimaisuutta.

CLT ei ole ominaisuuksiensa osalta vielä tuotekehittelynsä päässä. Sillä on yhä muutamia heikompia ominaisuuksia. Esim. pintahalkeilu, ääneneristävyys ja lämpötekniisyys ovat ominaisuuksia joiden mahdollinen kehittäminen ja parantaminen tekisivät CLT:stä yhä potentiaalisemman rakennusvaihtoehdon. Myös mahdollinen soveltuvuuden kehittäminen toisi CLT:lle markkina-arvoa. Kokonaisuudessa CLT on mielestäni erittäin mielenkiintoinen rakennusvaihtoehto, joka tuo monia mahdollisuuksia rakennusteollisuuteen niin Suomessa kuin muuallakin Euroopassa.

Käytetyt lähteet lienevät luotettavia, sillä vaikka työssä käytettiin paljon verkkolähteitä, pyrittiin kuitenkin käyttämään vain luotettavia lähteitä kuten Stora Enson ja Puuinfon internetsivustoja. Näiden internetsivustojen sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman avulla pystyttiin hyödyntämään lähteitä

nä myös CLT:stä aikaisemmin aiheesta tehtyjä opinnäytetöitä ja tutkimuksia. Uutena materiaalina CLT-rakenteesta riittää tutkittavaa myös tulevaisuudessa ja katsonkin tämän opinnäytetyöni toimivan hyvänä oppaana CLT-rakentamisen perusteisiin perehdyttäessä sekä uusissa CLT:tä koskevissa tutkimuksissa.

Opinnäytteeseen tehdyn selvityksen ja tiedonkeräyksen pohjalta voidaan lopuksi todeta, että kustannustehokkaalla ja nopealla CLT-rakentamisella on hyvät mahdollisuudet nousta tulevaisuudessa yhdeksi markkinoilla olevien rakennusjärjestelmien haastajaksi. CLT:llä on monia hyviä ominaisuuksia rakennusmateriaalina toimimiseen ja mm. ekologisuuden ja hyvän rakenteensa ansiosta CLT on erittäin potentiaalinen jatkokehittelyn kohde. Mielenkiinnolla jäädään odottamaan, millainen tulevaisuus CLT:llä on.

LÄHTEET

- Ahoranta, T. 2015. Kuvia CLT:n tuotantolinjalta. Sähköpostikeskustelu. tytti.ahoranta@digipolis.fi. Tulostettu 10.12.2015.
- Autioniemi, J., Pirttinen, V. & Vatanen, M. 2015. CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan analysointiraportti Q3/2014. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88401/Autioniemi%20Pirttinen%20Vatanen%20B%20%202015.pdf?sequence=1>. Viitattu 17.12.2015.
- Autioniemi, J., Sirkka, A., Pirttinen, V. Vatanen, M. 2014. CLT-koetalon lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan analysointiraportti Q1/2014. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/81155/Autioniemi%20Sirkka%20Pirttinen%20Vatanen%20B%2011%202014.pdf?sequence=1>. Viitattu 17.12.2015.
- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus rakennusfysiikka. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Brandner, R. 2013. Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. Pdf-dokumentti. Saatavissa: www.iom3.org/fileproxy/457425. Viitattu 26.11.2015.
- Brännare, J. 2012. CLT -levyjen soveltaminen suomalaiseen pientalorakentamiseen. Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/50788/Brannare_Jani.pdf?sequence=1. Viitattu 26.11.2015.
- Centria-ammattikorkeakoulu. Tietoa ammattikorkeakoulusta: Centria-ammattikorkeakoulu kouluttaa, tutkii ja kehittää. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.centria.fi>. Viitattu 2.1.2016.
- CLT Kiintopuu. Tilannekatsaus: CLT-Koetalon pystytyksen kuvasarjat. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi>. Viitattu 17.1.2016.
- Euroopan komissio. 2011. CE-merkintä: tuote vastaa vaatimuksia. Www-dokumentti. Saatavissa: http://ec.europa.eu/finland/news/press/101/10779_fi.htm. Viitattu 9.12.2015.
- FPInnovations. 2010. Cross Laminated Timber: a Primer. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://fpinnovations.ca/media/factsheets/Documents/cross-laminated-timber-the-boook.pdf>. Viitattu 17.11.2015.
- FPInnovations. 2011. CLT-handbook: Cross-Laminated Timber. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://fpinnovations.ca/Pages/ClForm.aspx>. Viitattu 12.1.2016.
- Gröhn, J. 2015. Rakentamisen uusi aikakausi - CLT-rakenteet puukerrostalossa. Karelia ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95512/clt_rakenteet_puukerrostalossa.pdf?sequence=1. Viitattu 15.12.2015.
- Hautala, M & Peltonen, H. 2011. Insinöörin (AMK) Fysiikka OSA I. 10. painos. Saarijärvi: Lahden Teho-Opetus Oy.

- Helamo. 2014. CLT -Raakalevyn valmistus. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi>. Viitattu 9.12.2015.
- Jansson, E. 2015. CLT-rakennuskomponentin halkeilun hallinta urittamalla ja toiminta pientalon sisäilmastossa. Aalto-yliopisto, Puunjalostustekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. Saatavissa: http://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16638/master_Jansson_Emil_2015.pdf?sequence=1. Viitattu 9.12.2015.
- Kekäläinen, R. 2015. CLT-rakentaminen. Vaasan ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. Saatavissa: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/87366/Kekalainen_Reeta.pdf?sequence=1. Viitattu 17.1.2016.
- Lambourne, R & Strivens, T.A. 1999. Paint and Surface Coatings: Theory and practice. Second Edition. England: Woodhead Publishing. Viitattu 2.2.2016.
- Luoma, H. 2016. CLT-sertifiointi Lappiaan. Puumieslehti, 2/2016, 28. Viitattu 10.3.2016.
- Mikkola, V. 2015. CLT-rakentamisen kannattavuus: Luhtitalon kustannusvertailu. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/100697/Mikkola_Ville.pdf?sequence=1. Viitattu 13.2.2016.
- Naskali, J. 2015. Rothoblaas: CLT-kiinnitysjärjestelmät. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puupaiva.com>. Viitattu 17.1.2016.
- Oy Crosslam Kuhmo Ltd. 2014a. CLT-tuotteita suomalaisesta puusta. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/kemi-26-3-2015-crosslam.pdf>. Viitattu 18.11.2015.
- Oy Crosslam Kuhmo Ltd. 2014b. Nykyajan rakennuslupaus. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.crosslam.fi>. Viitattu 29.1.2016.
- Oy Crosslam Kuhmo Ltd. 2014c. Uusi rakennustekninen ymmärrys. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.crosslam.fi>. Viitattu 20.2.2016.
- Puuinfo. 2011a. CLT Ristiinliimattu massiivipuu (cross laminated timber). Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu: 17.11.2015.
- Puuinfo. 2011b. Puukerrostalo – palomääräykset 2011. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 18.1.2016.
- Puuinfo. 2012. Pintojen ja katteiden paloluokat. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/pintojen-ja-katteiden-paloluokat/pintojen-ja-katteiden-paloluokat.pdf>. Viitattu 19.1.2016.
- Puuinfo. 2013. Puutuotteiden CE-merkintä laajenee. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 9.12.2015.
- Puuinfo. 2016. Stora Ensolta tilaelementtiratkaisu nopean rakentamisen tarpeeseen. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 28.1.2016.

- Puuinfo a. Kosteusteknisiä ominaisuuksia. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 27.11.2015.
- Puuinfo b. Lämpötekniisiä ominaisuuksia. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 20.11.2015.
- Puuinfo c. Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 12.1.2016.
- Puuinfo d. Äänitekniisiä ominaisuuksia. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 15.12.2015.
- Puuinfo e. Monikerroslevy (CLT). Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 28.1.2016.
- Puuinfo f. Puukerrostalo. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puukerrostalot/puukerrostalo.pdf>. Viitattu 12.2.2016.
- Puuinfo g. Multiprotect palonsuoja-aineet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 13.2.2016.
- Puuinfo h. Woodstain palosuojapetsit. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 13.2.2016.
- Puurakentajat. Miksi CLT-talo?. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puurakentajat.fi>. Viitattu 17.11.2015.
- Rakentaja.fi. 2011. Paloturvallisuusmääräykset ja -ohjeet vaikuttavat myös rakentamisessa. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.rakentaja.fi/artikkelit/8529/paloturvallisuusmaaraykset_ja_ohjeet.htm. Viitattu 12.1.2016.
- Rytönen, J. 2012. Laskentaohje CLT-seinäelementin ja CLT-välipohjaelementin mitoittamiseksi. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/51827/Laskentaohje%20CLT-seinaelementin%20ja%20CLT-valipohjaelementin%20mitoittamiseksi.pdf?sequence=1>. Viitattu 12.1.2016.
- Siikanen, U. 2008. Rakennusten lämpö- ja kosteusfysikaalisia näkökohtia. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.rakennustieto.fi>. Viitattu 6.2.2016.
- Stenroos, I. 2015. CLT-tilaelementtien käyttö asuinkerrostalojen ullakoiden lisärakentamisessa. Metropolia ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89430/stenroos_ilari.pdf?sequence=1. Viitattu 11.1.2016.
- Stora Enso. 2014. Stora Enso CLT. Puu – mailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali. Pdf-dokumentti. Saatavissa:

<http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/CLT%20image%20brochure%20FI.pdf>. Viitattu 18.11.2015.

Stora Enso. 2013a. Tekniset tiedot: Paloturvallisuus. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.clt.info/fi>. Viitattu 12.1.2016.

Stora Enso. 2013b. Tekniset tiedot: Statiikka ja lujuuslaskenta. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.clt.info/fi>. Viitattu 9.12.2015.

Stora Enso. 2013c. CLT-Massiivipuurakentaminen: CLT:n edut. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.clt.info/fi>. Viitattu 17.1.2016.

Teknos. 2013. Puu-ulkoverhouksen ja sisäpaneelien palonsuojaus: Teknosafe 2407. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/teknos_palonsuojaesite_sivuittain_10_2013.pdf. Viitattu 13.2.2016.

Teriö, O., Sorri, S., Helin, P., Sorri, J. & Helamo, M. 2014. CLT- ja puurankatalon kustannusvertailu. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-raportti-140923.pdf>. Viitattu 20.1.2016.

Tervo, J. 2015. Materiaalihukan pienentäminen CLT-elementtien valmistuksessa. Savonia-ammattikorkeakoulu, puutekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. Saatavissa: http://www.theseus.fi/xmlui/bitstream/handle/10024/90841/Tervo_Jari.pdf?sequence=1. Viitattu 26.11.2015.

Wood Focus Oy. 2004. Ääneneristys puutalossa. Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyyden suunnitteluohje. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi>. Viitattu 15.12.2015

Ympäristöministeriö. 1998a. C1 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA, Asunto- ja rakennusosasto. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.finlex.fi>. Viitattu 15.12.2015.

Ympäristöministeriö. 1998b. C2 SUOMEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSKOKOELMA, Asunto- ja rakennusosasto, Kosteus. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.finlex.fi>. Viitattu 5.1.2016.

LIITE 1

Verhoilemattoman CLT-levyn U-arvo

Verhoilemattoman CLT-levyn U-arvo

R = Yksittäisen tangon lämmönvastus $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

$R = L/\lambda$

L = kappaleen paksuus m

λ = Lämmönjohtavuus $\text{W}/\text{m}^\circ\text{K}$

U = lämmönläpäisykerroin $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

$U = 1/R$

CLT:n lämmönjohtavuus $0,11 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{K}$

Asuinrakennuksen ulkoseinän lämmönläpäisykerroin $U = 0,17 \text{ m}^2\text{K}$

Levyn paksuus (m) U-arvo ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

0,10	1,10
0,15	0,73
0,20	0,55
0,25	0,44
0,30	0,37
0,35	0,31
0,40	0,28
0,45	0,24
0,50	0,22
0,55	0,20
0,60	0,18
0,65	0,17
0,70	0,16

Verhoilemattoman CLT-levyn U-arvo

